www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

17e JAARGANG No. 2, blz. 33-64 FEBRUARI 1955

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

HET OPNAME- EN HET PRODUCTIEPROCES VAN GRAMMOFOONPLATEN

door J. L. OOMS *).

681.854:621.395.625.3

Philips' Phonographische Industrie is een nog jonge tak van het Philipsbedrijf. Ze houdt zich bezig met het fabriceren van zowel de grammofoonplaat van het oude, snel lopende, type (78 omw/min), als de moderne langspeelplaat. Vooral deze laatste heeft tegenwoordig een zeer goede kwaliteit bereikt. Een essentiële factor bij de fabricage is, naar uit het betoog zal blijken, de magnetische geluidsregistratie.

Bij het fabriceren van grammofoonplaten kan men drie stadia onderscheiden: allereerst moet men de op het repertoire geplaatste muziek op de een of andere wijze registreren, vervolgens uit het registrogram een matrijs vervaardigen, en pas daarna is men zo ver dat de eigenlijke massafabricage — het persen van de platen — een aanvang kan nemen. Wij zullen deze drie stadia achtereenvolgens behandelen.

Het opnemen

De zaal

De kwaliteit van een grammofoonplaatopname is in hoge mate afhankelijk van de acoustische eigenschappen van de gebruikte zaal. Nog meer dan bij het direct beluisteren van een muzikale uitvoering, vallen acoustische onvolkomenheden op indien ieder visueel contact ontbreekt, wat bij het luisteren naar grammofoonmuziek het geval is. Zoals o.a. bij de radio-omroep is gebleken, is het zeer moeilijk — zo niet onmogelijk — reeds bij de bouw van een zaal alle maatregelen te nemen welke goede acoustische eigenschappen garanderen. Bovendien wijzigen de omstandigheden zich met de bezetting van de zaal, zodat tijdens het opnemen voor grammofoonplaten (waarbij publiek, om redenen die aanstonds zullen blijken, in de regel afwezig is) vaak totaal andere klankbeelden optreden dan tijdens een uitvoering in tegenwoordigheid van publiek. Zo zal over het algemeen door het ontbreken van publiek de nagalmtijd voor hoge geluidsfrequenties langer zijn. Het rijkelijk gebruik van gordijnen, ter vervanging van de acoustische eigenschappen van de kleding van het publiek, is dan ook usance. Eveneens dienen maatregelen genomen te worden om ongewenste resonantieverschijnselen van de zaal, en vooral die van de vloer en het podium, te onderdrukken. Een door dit soort verschijnselen vertekend klankbeeld stoort bij het direct beluisteren van de uitvoering weliswaar maar weinig, aangezien het slechts op sporadische momenten optreedt; een grammofoonplaatopname echter, welke haar weg naar het muziekliefhebbend publiek vindt in vele duizenden exemplaren, vermenigvuldigt als het ware deze fout met het aantal gekochte exemplaren en bovendien met het gemiddelde aantal malen dat de plaat wordt gedraaid.

Het is dus duidelijk dat vele maatregelen moeten worden getroffen om de acoustiek tijdens het opnemen zo gunstig mogelijk te doen zijn. Aangezien hiertoe vaak wijzigingen in de zaal moeten worden aangebracht, die tamelijk kostbaar kunnen zijn, is het begrijpelijk dat een grammofoonplatenmaatschappij altijd zoekt naar zalen die al in ruime mate de wenselijke eigenschappen bezitten. Dit verklaart dat vaak verschillende maatschappijen hun opnamen in dezelfde zaal vervaardigen.

Het bovenstaande geldt in hoofdzaak voor opnamen van het klassieke en het semi-klassieke genre. Dans- en andere populaire muziek stellen geheel andere eisen. Meestal gebruikt men hiervoor een zaal met korte nagalmtijd (zo'n zaal heet „droog" in de vaktaal) en de gewenste nagalm wordt bij wijze

*) Philips' Phonographische Industrie, Baarn.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van effect langs electronisch-acoustische weg toegevoegd. Men maakt daarbij gebruik van hetzij een „galmkamer", hetzij een „galmkanaal" met magnetische geluidsregistratie. Wij zijn hier beland op het gebied van de trucage, die vooral de laatste jaren uitgebreide toepassing bij het opnemen van moderne dansmuziek heeft gevonden. Tot de trucagemethodes kunnen ook gerekend worden het „electrische" en het „acoustische decor". Het is mogelijk hiermee opnamen te vervaardigen die bij het weergeven een klankbeeld produceren dat uitvoerenden in een zaal nooit hadden kunnen voortbrengen!

Een „electrisch decor" bestaat uit een signaal dat direct electrisch met het te registreren signaal wordt gemengd. Bij een „acoustisch decor" geschiedt de menging indirect, via een acoustische schakel (luidspreker in de studio). Zowel het signaal van het electrische als dat van het acoustische decor zijn in de regel afkomstig van een registrogram dat tevoren was vervaardigd; een acoustisch decor kan echter ook tijdens het maken van de eigenlijke opname worden geproduceerd (vaak in een afzonderlijke studio).

De microfoons

De vraag naar steeds betere kwaliteit heeft ertoe geleid dat vrijwel uitsluitend nog condensatormicrofoons [1]) worden gebruikt. Men onderscheidt deze, al naar de richtingskarakteristiek, in alzijdig, tweezijdig en eenzijdig gevoelige uitvoeringen (met ongeveer cirkelvormige, 8-vormige resp. cardioïdevormige karakteristiek). Het gebruik van deze verschillende uitvoeringsvormen moet gezien worden als een hulpmiddel om tegemoet te komen aan de reeds geschetste acoustische onvolkomenheden van de zaal en aan de eis dat de luisteraar per saldo, zonder visueel contact met de uitvoerenden, toch dezelfde algehele indruk van het gebodene moet krijgen. Met andere woorden: het klankbeeld zoals dit op de grammofoonplaat wordt vastgelegd, dient niet slechts een zo getrouw mogelijk replica van de muzikale uitvoering te zijn, maar het moet deze bovendien nog op bepaalde punten accentueren, ten einde de luisteraar de bevrediging te schenken die hij erin zoekt.

Om dezelfde reden werkt men ook wel met een aantal microfoons tegelijk: door menging wil men een meer bevredigend klankbeeld verkrijgen. Dit doet echter ook de kans op ongewenste effecten toenemen; daarom kan het werken met twee of meer microfoons slechts worden overgelaten aan deskundigen die op dit gebied veel ervaring hebben opgedaan.

[1]) Zie bijv. Philips techn. T. **9**, 330-338, 1947.

Ook blijkt het vaak noodzakelijk het klankbeeld in afhankelijkheid van de frequentie te corrigeren, ten einde een zo gunstig mogelijke eindbalans over het gehele frequentiegebied te verkrijgen. Over het algemeen bestaan deze correcties in zeer gelijkmatig met de frequentie verlopende stijgingen of dalingen van de versterking, doch er worden sinds enkele jaren ook wel correcties uitgevoerd die tot een betrekkelijk smal frequentiegebied beperkt blijven.

Magnetische registratie

Het aldus in evenwicht gebrachte klankbeeld wordt bij de moderne grammofoonplatenfabricage geregistreerd op een magnetische band [2]). De opbloei van de grammofoonplatenindustrie, die zich sedert enige jaren voordoet, steunt hoofdzakelijk op de ontwikkeling van de langspeelplaat [3]). Het is niet overdreven te constateren dat zonder het magnetisch registreren deze opbloei niet mogelijk was geweest.

Vroeger maakte men de opname door middel van een direct graveerproces — eerst op een wasplaat, later op een lakplaat. De hierop volgende fabricatorische manipulaties lieten niet meer dan een vrij gering aantal persingen toe, zodat de opname gedoemd was na enkele jaren uit de catalogus te verdwijnen. De exploitatiemogelijkheden van het aldus „geconserveerde talent" waren dus beperkt. Geheel anders is dit wanneer men registreert op magnetische band. Deze vormt een registrogram („magnetogram") waarvan men een theoretisch onbeperkt aantal malen opnieuw kan uitgaan ter vervaardiging van nieuwe matrijzen zodra de vorige versleten dreigen te raken.

Bij dit voordeel van magnetische registratie voegt zich een ander, dat eveneens zeer belangrijk is. Zelfs de beste musici zijn in het algemeen niet in staat langer dan een minuut of tien foutloos te spelen; een tijd van 15 tot 20 minuten behoort al tot de uitzonderingen. Dat bij het uitvoeren van langere werken dus steeds fouten zullen voorkomen, is iets dat het publiek in de concertzaal als volkomen normaal accepteert; het vergeet niet al te ernstige fouten dan ook meestal direct. Maar tijdens het opnemen voor grammofoonplaten zijn fouten niet aanvaardbaar, wegens de zeer grote vermenigvuldigingsfactor waarover wij boven al hebben gesproken:

[2]) Zie bijv.: D. A. Snel, Toestellen voor magnetische geluidsregistratie, Philips techn. T. **14**, 165-174, 1952; W. K. Westmijze, Het opneem- en weergeefproces bij de magnetofoon, Philips techn. T. **14**, 269-281, 1952; W. K. Westmijze, Studies on magnetic recording, Philips Res. Rep. **8**, 148-157, 161-183, 245-269, 243-366, 1953 (Nos. 2, 3, 4 en 5).

[3]) Zie bijv.: L. Alons, Nieuwe ontwikkelingen op grammofoongebied, Philips techn. T. **13**, 86-96, 1951.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

heeft de grammofoonluisteraar eenmaal een fout opgemerkt, dan zal deze hem bij iedere volgende maal draaien van de plaat sterker gaan hinderen. Om door middel van een direct graveerproces twee bruikbare lakplaten te krijgen (waarvan één reserve — het uiterste minimum waarmee men kan volstaan), moest men vaak grote delen van het op te nemen stuk muziek ettelijke malen doen herhalen, aangezien op het gebruikte medium elke speelfout onherstelbaar was. Daartegenover staat als enorm voordeel van het magnetogram dat dit montage toelaat. Men maakt hiervan gebruik door na een speelfout de desbetreffende passage te laten overspelen en deze in de opname te monteren. Op deze wijze kan men foutloze magnetogrammen verkrijgen van circa een half uur speelduur, wat voor het fabriceren van langspeelplaten van essentiële betekenis is.

Wegens de herhalingen kan men bij het opnemen in de regel geen publiek in de zaal toelaten; daarbij komt natuurlijk nog het gevaar dat het publiek door kuchen of ander gerucht de opname zou bederven [4]).

Aangezien de grammofoonplaat dus in wezen een afgeleide is, niet van het directe klankbeeld, doch van dat zoals het magnetisch is vastgelegd, dient men aan de magnetische registratie zeer hoge eisen te stellen. Lineaire en niet-lineaire vervorming moeten tot het uiterste worden teruggebracht. Hetzelfde geldt voor kortstondige snelheidsvariaties van de band, die aanleiding zouden geven tot hinderlijke variaties van de toonhoogte (zg. „wow" en „flutter").

Reeds gedurende het opnemen laat men de band langs een weergeefkop lopen en beluistert men de weergave in een afzonderlijk vertrek. Bij de beoordeling gaat men ervan uit dat de toekomstige grammofoonplaat in het algemeen ten gehore zal worden gebracht in een huiskamer en dat ze dus onder de daar heersende omstandigheden de grootst mogelijke voldoening moet geven. Practisch echter kan men deze omstandigheden in het afluistervertrek niet verwezenlijken. Bovendien kiest men er het geluidsniveau vrij hoog, om eventuele speelfouten met de grootst mogelijke zekerheid waar te nemen; dit gaat echter, door de physiologie van het oor, gepaard met een niet geheel juiste waarneming. De opnameleider moet dus het waargenomen klankbeeld als het ware vertalen in een van het lagere geluidsniveau dat in de huiskamer gebruikelijk is. Voegt men daarbij nog het feit dat de electrische en electro-acoustische eigenschappen van het weergeefsysteem van de toekomstige plateneigenaar niet bekend zijn, dan is het duidelijk dat het instellen van het juiste klankbeeld zeer grote routine vereist.

Dynamiek

Bij het opnemen is een vermindering van de „dynamiek" (of „span" [5])) nodig, d.i. de intensiteitsverhouding van de sterkste tot de zwakste passages. De gunstige eigenschappen van de magnetische drager met hoogfrequente voormagnetisatie [2]) laten toe, vrijwel de gehele dynamiek die tijdens de uitvoering door een groot symfonieorkest optreedt (ca. 70 dB), in deze drager vast te leggen. Maar het feit dat de plaat ten slotte onder huiskameromstandigheden ten gehore zal worden gebracht, betekent een aanzienlijke begrenzing van de dynamiek die in de plaat aanwezig mag zijn, opdat de weergave enerzijds niet vastloopt op te sterke niet-lineaire vervorming en anderzijds niet verdrinkt in de ruis of in de geluiden die in een huiskamer nooit geheel te vermijden zijn.

Een eenvoudige berekening geeft omtrent dit probleem een duidelijk inzicht. We nemen aan dat het uitgangsvermogen van de gemiddelde weergeefapparatuur, die in de regel zal bestaan uit een radiogrammofoon of een afzonderlijke grammofoon en een radiotoestel, 3 watt bedraagt en dat in de sterkste passages dit vermogen juist wordt bereikt. Bij een dynamiek van 40 dB in de plaat zou dan in de pianissimopassages de muziek zo zacht worden dat ze volkomen zou worden overheerst door allerlei storende geluiden die nu eenmaal in woonhuizen aanwezig zijn: straatlawaai, burengeluiden, ja zelfs het zwakke gebrom van de grammofoonmotor kan onder deze omstandigheden al storen. (Opgemerkt zij hierbij dat de eigen ruis van de moderne platen uit kunsthars aanmerkelijk zwakker is en hier dus buiten beschouwing kan blijven.)

In het algemeen wordt daarom aangenomen dat een grammofoonplaat een dynamiek van niet meer dan 30 dB mag hebben. Was de dynamiek groter, dan zou de luisteraar de neiging krijgen tijdens pianissimi de sterkte van de weergave wat op te voeren, met als gevolg dat bij een fortissimo het geluid veel te sterk zou worden en bovendien vervormd. De luisteraar zou dan de sterkte weer wat verminderen. Deze ongewenste situatie nu kan vermeden worden door hetgeen anders de luisteraar zou doen, al te verrichten tijdens het opnemen, maar dan op deskundige en muzikaal verantwoorde wijze. Pas dan kan de weergave, al is ze in dynamiek gereduceerd, de luisteraar ongestoord genot verschaffen.

[4]) Een uitzondering vormen historische of slechts één maal gegeven uitvoeringen, waarvan de opname vooral documentaire waarde heeft. De omstandigheden waaronder zulk een opname is gemaakt, worden gewoonlijk op het etiket van de plaat vermeld.

[5]) Vgl. Philips techn. T. **11**, 286, 1949.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Van magnetogram tot matrijs

Is aldus een muziekuitvoering magnetisch geregistreerd, dan is de volgende stap dat men van het magnetogram moet komen tot een matrijs, waarmee een persmassa tot grammofoonplaten kan worden geperst. Deze stap is onder te verdelen in een aantal tussenstappen, waarvan de eerste het vervaardigen van een lakplaat is. Hieruit wordt vervolgens langs chemische en galvanoplastische weg de matrijs vervaardigd.

Het graveren in de lakplaat

Het op de magnetische band geregistreerde wordt via een weergeefkop, een versterker en een groefsnijder overgenomen op een lakplaat (*fig. 1*). Deze plaat loopt met hetzelfde toerental als de te fabriceren grammofoonplaat.

Bij het graveren komt het, wat de mechanische kant betreft, weer aan op een zeer constante snelheid, zowel van de band als van de plaat. Bovendien moet veel zorg worden besteed aan het vermijden van trillingen (deze bepalen goeddeels het storingsniveau van de ongemoduleerde groef) en ook aan de vlakheid van de plaat. Dit laatste geldt vooral voor langspeelplaten; bij deze moet het profiel van de groeven (*fig. 2*) — waarvan er tot 14 op een millimeter kunnen voorkomen! — binnen zeer enge grenzen constant blijven. Om deze reden is de draaischijf van de snijmachine eens voor al zo zuiver mogelijk vlak gemaakt en loodrecht op de draaiingsas geplaatst; de lakplaat wordt door middel van vacuum erop vastgezogen.

Het te registreren spectrum loopt van ca. 30 Hz tot ca. 16000 Hz. Deze grote breedte stelt hoge eisen aan de electronische apparatuur en aan de groefsnijder, te meer daar lineaire en niet-lineaire vervorming uiterst gering moeten blijven. Onder lineaire vervorming wordt hier verstaan de afwijking van een genormaliseerde frequentiekarakteristiek (versterking als functie van de frequentie).

Wat deze genormaliseerde frequentiekarakteristiek betreft, merken wij op dat de fabrieken van grammofoonplaten zich tegenwoordig baseren op een weergeefkanaal met bepaalde eigenschappen,

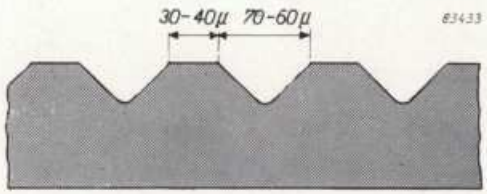

Fig. 2. Enige ongemoduleerde groeven van een langspeelplaat in dwarsdoorsnede.

welke men internationaal vastgelegd hoopt te krijgen. Twee voorstellen tot zulk een „fononorm", een Europees en een Amerikaans (*fig. 3*), zijn door de International Electrotechnical Commission behandeld, echter zonder dat al een beslissing is ge-

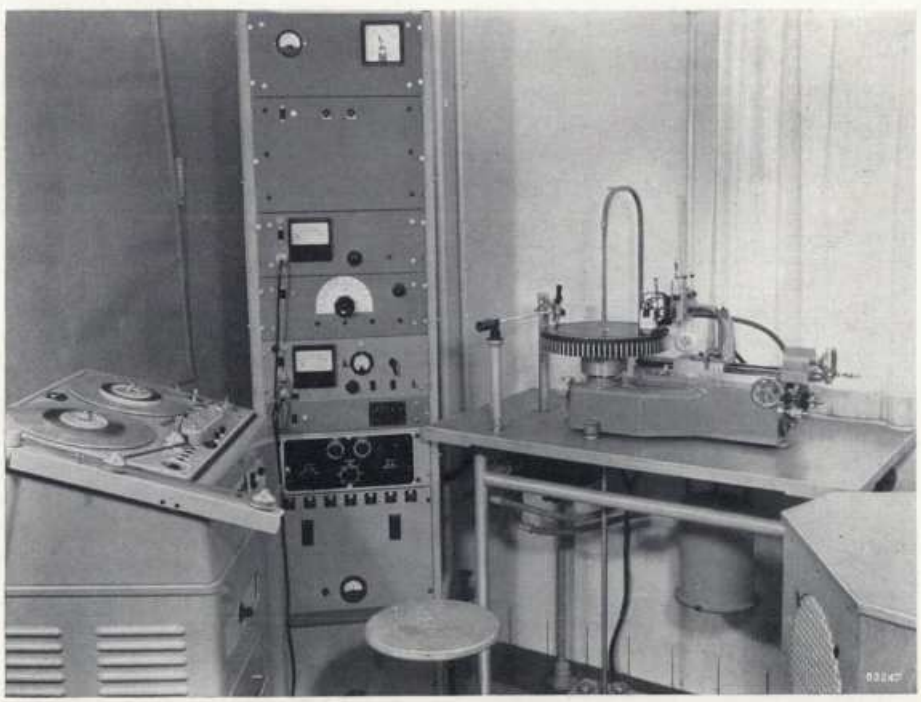

Fig. 1. Installatie voor het overnemen van het magnetogram op lakplaten. Van links naar rechts: de machine waarop het magnetogram wordt afgetast, de versterker (en andere electronische apparatuur), de machine waarop de lakplaat wordt gegraveerd, en een controleluidspreker.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

nomen. Bij het graveren in de lakplaat wordt een correctie aangebracht die het reciproke van de fononorm is, ten einde de weergave via het standaardkanaal zo goed mogelijk onafhankelijk van de frequentie te doen zijn.

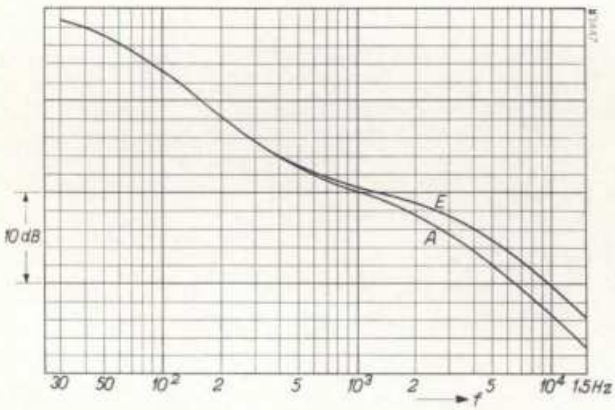

Fig. 3. Bij de I.E.C. aanhangige voorstellen tot standaardisering van een weergeefkanaal voor langspeelplaten. Verticaal is uitgezet de snelheid v van de naaldpunt bij constante geluidsintensiteit, horizontaal de geluidsfrequentie f, beide op logarithmische schaal. De kromme A is volgens het Amerikaanse voorstel, de kromme E volgens het Europese.

De groefsnijder is van het electrodynamische type. De moeilijkheden bij de ontwikkeling ervan waren van dezelfde aard als indertijd die bij de schrijver van het Philips-Miller-systeem [6]): terwijl de bewegende massa uiterst gering moet zijn, dient het spoeltje bestand te zijn tegen zeer grote stroomdichtheden; doch nu zijn de eisen, wegens de grotere omvang van het frequentiegebied, nog hoger dan toen.

De volgende, zeer globale, berekening laat zien dat de spoel onderworpen is aan zeer grote stroomdichtheden en versnellingen. Eenvoudigheidshalve is uitsluitend de bewegende massa van het koperdraad der spoel in rekening gebracht, zodat de uitkomsten zeker nog aan de lage kant zijn.

Is l de lengte van de draad op de spoel, I de wisselstroom die erdoor loopt, en B de magnetische inductie van het veld waarin de spoel zich bevindt, dan is de kracht K die op de spoel werkt (in het eenhedenstelsel van Giorgi):

$$K = IlB.$$

Noemen we de stroomdichtheid J, de bewegende massa van het koperdraad m en de dichtheid van het koper d, dan is $Il = Jm/d$, dus

$$K = \frac{JmB}{d}.$$

Ook is $K = ma$, als a de versnelling is, zodat $a = JB/d$, of

$$J = \frac{ad}{B}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Voor a kan men schrijven: $\omega^2 A$, als ω de hoekfrequentie van de te registreren toon is en A de amplitude van de groef. Om een voldoend grote amplitude te krijgen, kiest men a zo groot mogelijk. Aan de waarde van a wordt echter een bovenste grens gesteld door de zg. aftastingsvervorming (zie blz. 90 van het in [3]) aangehaalde artikel), welke zou optreden wanneer de kromtestraal van de geregistreerde sinuslijn ergens kleiner werd dan de straal van de bolvormige naaldpunt waarmee de grammofoonplaat later wordt afgetast. Deze kromtestraal ϱ is het kleinst in de toppen van de sinus, dus daar dreigt de grens het eerst overschreden te worden. Bij benadering geldt in de toppen:

$$\varrho = \frac{V^2\sqrt{2}}{a},$$

als V de snelheid is waarmee de groef onder de naald door loopt. In het grensgeval is ϱ dus gelijk aan de straal r van de naaldpunt en moeten we voor V de kleinste snelheid nemen, dus die van de binnenste groef (V_i), en voor a de topwaarde a_{max}:

$$r = V_i^2\sqrt{2}/a_{max}$$

of

$$a_{max} = \frac{V_i^2\sqrt{2}}{r}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Substitueren we in (1) en (2) de volgende waarden:

d = 8900 kg/m³ (koper),
B = 1 Wb/m² (= 10 000 gauss),
V_i = 0,22 m/s (voor een plaat met $33^1/_3$ omw/min) en
r = $25 \cdot 10^{-6}$ m,

dan vinden we voor de maximale versnelling:

$$a_{max} = 2740 \text{ m/s}^2$$

of 280 maal de versnelling van de zwaartekracht, en voor de maximale stroomdichtheid:

$$J_{max} = 24{,}2 \text{ A/mm}^2,$$

waarbij, zoals gezegd, andere bewegende massa's dan die van het koperdraad van het spoeltje dan nog verwaarloosd zijn.

In de tegenwoordige uitvoering van de groefsnijder, van de firma Fonofilm te Kopenhagen, zijn de moeilijkheden bevredigend opgelost, dank zij de volgende maatregelen: er zijn nieuwe, zeer lichte, constructiematerialen van grote sterkte gebruikt, de onderdelen zijn zeer zorgvuldig afgewerkt, waardoor schadelijke luchtspleten zijn vermeden en dientengevolge de magnetische inductie tot een hoge waarde kon worden opgevoerd, en er is tegenkoppeling toegepast [7]): aan de snijbeitel is een spoeltje bevestigd dat zich in een magnetisch veld bevindt; in dit spoeltje wordt een electrische spanning opgewekt die evenredig is met de snelheid van de beitel. Deze spanning dient als tegenkoppelspanning in de versterker die de groefsnijder voedt. Dit brengt de lineaire en de niet-lineaire vervorming van het graveerproces tot zeer kleine waarden terug; metingen hebben aangetoond dat de intermodulatie zich beweegt om een waarde van 1%.

Een andere bijzonderheid is de electrische verwarming van de beitelpunt (een saffier). Dank

[6]) Philips techn. T. **1**, 135-141, 1936.

[7]) F. Schlegel, Einige Schallplattenaufnahmeprobleme, Acustica **4**, 45-47, 1954 (No. 1).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zij deze verwarming ontstaat een gladdere groef, dus minder ruis. Bovendien wordt de weergave van de hoge tonen erdoor verbeterd. In koude toestand is de lak namelijk niet zuiver plastisch, maar nog tamelijk elastisch. Het blijkt dat dan de amplitude van de groef onmiddellijk na het snijden kleiner wordt, en wel des te meer naarmate de golflengte kleiner is. Dit verschijnsel treedt dus vooral op bij hoge tonen en bij de binnenste groeven, waar de golflengte immers het kleinst is. Verwarming van de beitel maakt de lak zo week dat het ongewenste effect uitblijft. Op zeer korte afstand achter de beitel heeft de lak de oorspronkelijke hardheid herkregen.

Ten einde de speelduur van grammofoonplaten te verlengen, past men de laatste jaren het systeem van de variabele groefafstand toe. Hierbij wordt de gemiddelde afstand tussen twee opeenvolgende groeven voortdurend zo klein mogelijk gehouden. Dit betekent dat in zachte passages meer groeven per millimeter worden ondergebracht dan volgens het gewone systeem, dat met een constante spoed werkt, die op de luidste passages is gebaseerd [8]).

Het regelen van de groefafstand in afhankelijkheid van de amplitude geschiedt automatisch. Alvorens de weergeefkop te passeren, loopt de magnetische band langs een hulpweergeefkop, die voorinformatie over de sterkte van het aanstonds te registreren signaal geeft. De wisselspanning opgewekt in de hulpweergeefkop wordt gelijkgericht, en de zo verkregen variabele gelijkspanning bepaalt de frequentie van een buisoscillator. Via een versterker voedt deze een synchrone motor, waarvan het toerental dus afhangt van de sterkte van het te registreren signaal. De motor drijft het mechanisme aan dat de groefsnijder binnenwaarts verplaatst.

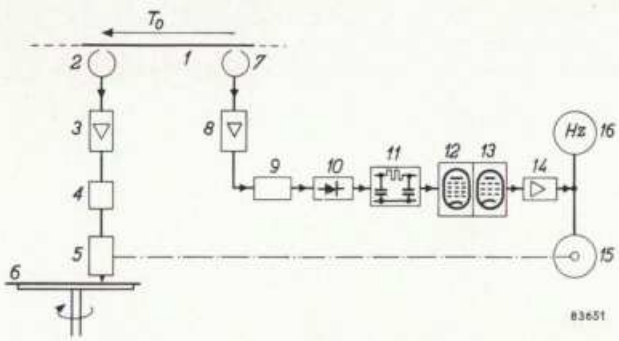

Fig. 4. Blokschema van de installatie voor het overnemen van het magnetogram (*1*) op een lakplaat (*6*) met variabele groefafstand, via een weergeefkop *2*, versterker *3*, corrigerend netwerk *4* en groefsnijder *5*. *7* hulpweergeefkop, die ca. één omwentelingstijd (T_0) van de plaat eerder wordt gepasseerd dan de kop *2*; de hulpkop *7* werkt via een versterker *8*, filter *9*, gelijkrichter *10* en vertragend netwerk *11* op een reactantiebuis *12*. Deze regelt de frequentie van een buisoscillator *13*, die via een versterker *14* een synchrone motor *15* voedt, welke de groefsnijder binnenwaarts verplaatst. *16* frequentiemeter.

[8]) Als gemiddelde van een groot aantal klassieke werken is een speelduurverlenging van omstreeks 20 % verkregen.

Fig. 4 is het blokschema van de inrichting voor variabele groefafstand. Tussen de gelijkrichter en de reactantiebuis (d.i. een buis die zo geschakeld is dat ze de frequentie van de oscillator regelt) bevindt zich een vertragend netwerk, met een tijdconstante ongeveer gelijk aan de tijd die een punt van de band nodig heeft om de afstand tussen de twee weergeefkoppen af te leggen; deze tijd T_0 kiest men ongeveer gelijk aan de omwentelingstijd van de plaat.

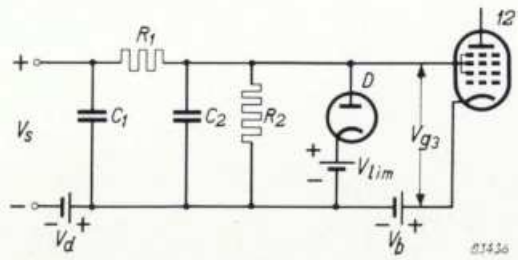

Fig. 5. Schema van het vertragende netwerk *11* van fig. 4. V_s ingangssignaal (variërende gelijkspanning). V_d drempelspanning. C_1 condensator waaruit de condensator C_2 via de weerstand R_1 vertraagd wordt geladen. R_2 ontlaadweerstand. De diode D met voorspanning V_{lim} vormt de begrenzer. V_b roostervoorspanning. *12* reactantiebuis.

Fig. 5 geeft nadere bijzonderheden over het vertragende netwerk. Vanuit de condensator C_1, waarop het versterkte en gelijkgerichte signaal V_s van de hulpweergeefkop komt te staan, wordt via een weerstand R_1 een condensator C_2 vertraagd geladen, met de aangegeven polariteit. Bij toenemend signaal V_s wordt de roosterspanning V_{g3} van de reactantiebuis dus geleidelijk minder negatief, en dit verhoogt de frequentie van de oscillator; met deze frequentie zijn het toerental van de synchrone motor en de groefafstand s evenredig.

In de schakeling treft men een drempelspanning en een begrenzer aan. De drempelspanning is de tegen V_s in geschakelde gelijkspanning V_d; ze maakt dat de groefafstand, die tevoren op een zeer kleine waarde was ingesteld, pas begint toe te nemen wanneer de amplitude een zeker niveau overschrijdt. De begrenzer bestaat uit een diode in serie met een gelijkspanningsbron V_{lim}; hij zorgt ervoor dat de oscillatorfrequentie en de groefafstand als functie van de signaalamplitude niet onbeperkt toenemen. *Fig. 6* laat de invloed van drempelspanning en begrenzer zien. In *fig. 7* vindt men het verloop van de diverse spanningen grafisch voorgesteld.

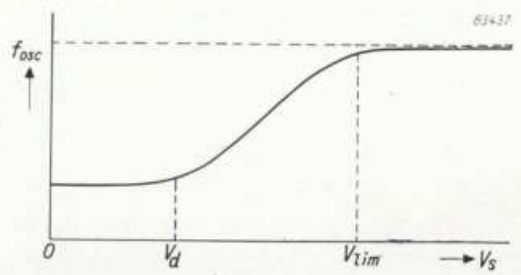

Fig. 6. De frequentie f_{osc} van de oscillator (*13* in fig. 4) als functie van de signaalspanning V_s. De drempelspanning is V_d, de begrenzende spanning V_{lim}.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het vervaardigen van de matrijs

Uit de lakplaat vervaardigt men door galvanoplastische processen de matrijs. Hiertoe moet men eerst de lakplaat geleidend maken. De tegenwoordig hiervoor toegepaste methode is ongeveer dezelfde als die volgens welke zilverspiegels worden vervaardigd, namelijk door precipitatie van zilver uit een ammoniakale oplossing van zilvernitraat. Procédés die in vacuum plaatsvinden, zoals verzilveren door kathodeverstuiving of door opdampen, zijn practisch verlaten, daar zowel het vacuum als de temperatuurverhoging die erbij optreedt, ongunstige invloed op de lakplaat heeft.

Nadat de lakplaat met een laagje zilver is bedekt — slechts een fractie van een micron dik —, slaat men er langs galvanoplastische weg een laag nikkel en daarna een laag koper op neer. Nu is het mogelijk geworden de lakplaat te scheiden van het metaal. Het dunne zilverlaagje blijkt na de scheiding te zijn meegegaan met het opgegroeide metaal. Men heeft aldus een metalen copie van de lakplaat verkregen, met dien verstande echter dat de copie een ribbel bezit in plaats van een groef; daarom wordt ze negatief genoemd.

In principe is het mogelijk dit negatief als matrijs te gebruiken; immers, een afdruk ervan in plastisch materiaal is een natuurgetrouwe, positieve, afbeelding van het uitgangsobject, de lakplaat. Men maakt echter alleen dan van deze mogelijkheid gebruik indien de te fabriceren plaat slechts in zeer kleine oplaag zal verschijnen. De reden waarom men bij grotere oplaag deze korte weg niet volgt, is dat er geen enkele reserve meer aanwezig zou zijn wanneer het negatief bij het persen beschadigd werd; men zou dan opnieuw een lakplaat moeten graveren en daarvan weer een negatief vervaardigen (deze laatste bewerking kan men namelijk in de regel slechts één maal met een lakplaat uitvoeren), en de fabricage van de bewuste plaat zou gedurende al die tijd stilstaan. Ter vermijding hiervan maakt men van het negatief eerst een (metalen) positief, door op het negatief electrolytisch een metalen neerslag te doen ontstaan, wederom bestaande uit nikkel en vervolgens koper. (Ter vermijding van samengroeien van positief en negatief, bedekt men het laatste eerst met een scheidingslaagje.) Aldus verkrijgt men een positief, in feite een metalen grammofoonplaat (met een groef aan slechts één zijde), welke men kan afspelen. Deze mogelijkheid wordt benut om het positief te controleren op eventuele onregelmatigheden, die tijdens de galvanische behandeling mochten zijn ontstaan, en deze, zo nodig, te corrigeren. Met behulp van zeer fijne graveer-

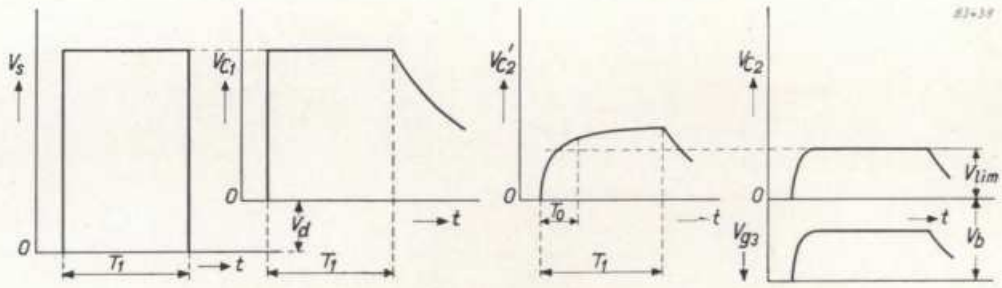

Fig. 7. Verloop van diverse spanningen in de schakeling van fig. 5 als functie van de tijd t, bij een fortissimo (duur T_1; de omwentelingstijd van de plaat is T_0).
V_s = signaalspanning. V_{C_1} = spanning over condensator C_1. De spanning over C_2 zou volgens V_{C_2}' verlopen indien er geen begrenzer was; met begrenzer verloopt ze volgens V_{C_2}. De spanning tussen rooster en kathode van de reactantiebuis is V_{g3}; deze spanning bepaalt de frequentie van de oscillator.

Fig. 8. Controle van het positief op beschadigingen en stofjes.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

beitels kunnen stofjes en andere ongerechtigheden uit de groef worden verwijderd; dit geschiedt uiteraard onder een microscoop (*fig. 8*).

Op dezelfde wijze als uit het negatief dit positief werd afgeleid, wordt nu van het positief weer een metalen negatief vervaardigd — de persmatrijs of stamper (*fig. 9*). De koperen achterzijde van de matrijs wordt op een speciale draaibank zuiver planparallel met de voorzijde gemaakt. Hierna wordt langs optische weg het middelpunt bepaald (*fig. 10*), het punt dus ten opzichte waarvan de groef een spiraal van Archimedes vormt, en het centrale gat erin geponst (op een plaat met variabele groefafstand komt altijd wel een gedeelte met constante groefafstand voor, dat men voor de bepaling van het middelpunt kan gebruiken). Daarna wordt de buitenkant op maat afgedraaid. Ter vergroting van de slijtvastheid wordt de matrijs ten slotte voorzien van een chroomneerslag, ter dikte van enkele microns.

Wordt de matrijs tijdens de fabricage beschadigd, dan kan men, zonder dat lang oponthoud ontstaat, een nieuwe maken door terug te grijpen op het positief. Het metalen positief, evenals tevoren het metalen negatief, wordt namelijk door het galvanisch copiëren niet beschadigd. Is het positief na het maken van enige matrijzen ook niet meer bruikbaar, dan heeft men als verdere reserve nog het metalen negatief.

Fig. 9. Het positief en de electrolytisch daarop aangebrachte stamper worden van elkaar gescheiden.

Fig. 10. Centrering van een matrijs. Deze wordt losjes ingespannen op een draaibare tafel. Men verandert de inspanning zodanig totdat men, kijkend door de microscoop, bij draaiing van de tafel de groeven zich nog maar in één richting (binnen- of buitenwaarts) ziet verplaatsen. Dan haalt men de hefboom over, waardoor het middengat wordt uitgeponst.

De massafabricage van grammofoonplaten

Alvorens te spreken over het persen, d.i. de massafabricage van de eigenlijke grammofoonplaat, willen wij nu enkele woorden wijden aan de materialen waaruit de platen worden geperst.

De persmaterialen

Tegenwoordig worden voor de fabricage van grammofoonplaten twee soorten materiaal gebruikt. De oudste is het schellakmateriaal, de nieuwste een kunstharsmateriaal, en wel een copolymeer van vinylchloride en vinylacetaat. Dit kunstharsmateriaal heeft, behalve de eigenschap van een zeer glad oppervlak (dus een ruisarme groef), het voordeel van onbreekbaarheid [3]).

De bereidingswijzen van deze twee materialen zijn geheel verschillend. Het schellakmateriaal bestaat in hoofdzaak uit schellak, copal, een kleurstof en een vulmiddel. Nadat deze bestanddelen uiterst fijn gemalen zijn, worden ze, nog in droge

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

toestand, voorgemengd. Het mengsel wordt vervolgens op een wals met één verwarmde rol geplastificeerd en dooreengekneed, waarna de aldus ontstane taaie massa over een kalander met tabletteerinrichting wordt gevoerd. Deze snijdt het materiaal tot tabletten, van de grootte die voor één grammofoonplaat nodig is.

Bij de bereiding van het kunstharsmateriaal worden de samenstellende bestanddelen — hoofdzakelijk het poedervormige copolymeer — vermengd met een kleurstof en een zg. stabilisator, die voorkomt dat het copolymeer tijdens het fabricageproces ontleed zou worden en daarbij schadelijk chloor zou afscheiden. Vervolgens passeert de massa een extrusiepers, waarin het vóór de extrusie verwarmd en daardoor geplastificeerd wordt, en een snijinrichting. Uit deze laatste komt het te voorschijn als korrels van circa 5 mm middellijn. Dit is de grondstof voor langspeelplaten. Onderzoek op de aanwezigheid van schadelijke metaaldeeltjes vindt plaats door middel van een metaaldetector [9]).

Het persen

Grammofoonplaten worden geperst in hydraulische persen (*fig. 11*), werkend met een drukkracht in de orde van 100 ton. De persen zijn voorzien van persblokken, waarop de matrijzen worden bevestigd. Het te persen materiaal wordt voorverwarmd, de schellaktabletten op een door stoom verwarmde tafel, de kunstharskorrels in een electrische oven. De voorverwarming is nodig om de perscyclus te versnellen, en vooral om de matrijzen te sparen, die door hard onverwarmd materiaal sterk zouden slijten.

Vóór het persen voorziet men de persblokken van matrijzen, bijbehorende etiketten en voorverwarmd persmateriaal (hetzij een schellaktablet, hetzij een afgepaste hoeveelheid kunstharskorrels). Gedurende het inbrengen van de etiketten en het persmateriaal worden de persblokken door stoom verwarmd, welke verwarming wordt voortgezet tijdens het sluiten van de pers en het aanbrengen van de hydraulische druk. Nadat het persmateriaal tot de rand is uitgevloeid, zodat het de gehele persvorm vult, sluit men de stoomtoevoer af en laat men koelwater toe, ten einde de persblokken in korte

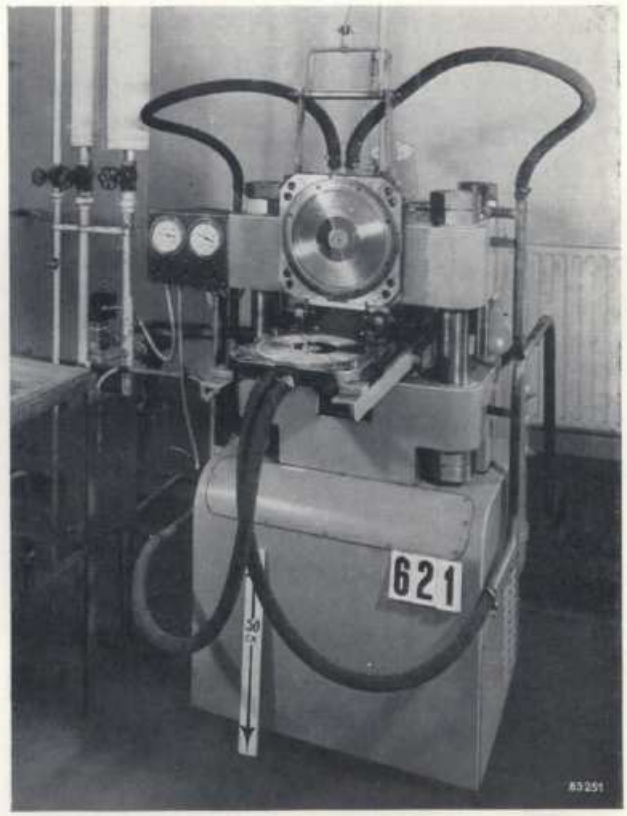

Fig. 11. Grammofoonplatenpers met opengeklapt persblok.

tijd af te koelen tot een temperatuur waarbij de plaat voldoende vastheid heeft gekregen om uit de pers te kunnen worden genomen.

Vervolgens wordt de rand van de plaat ontdaan van uitgeperst materiaal en op een polijstmachine zorgvuldig nabewerkt. Hierop volgen een visuele inspectie van iedere plaat, de verpakking in hoezen en de afvoer naar het magazijn. Regelmatig wordt een steekproefcontrole uitgeoefend, waarbij de gekozen plaat in haar geheel op muzikale kwaliteit wordt beoordeeld.

Samenvatting. De gang van zaken bij de fabricage van grammofoonplaten is als volgt. De muziek wordt magnetisch geregistreerd op een band en vervolgens, door middel van een groefsnijder, van de band overgenomen op een lakplaat. Van de lakplaat maakt men langs electrolytische weg een metalen negatief, van dit laatste een positief en hiervan wederom een negatief. Dit laatste negatief is de matrijs („stamper"), waarmee in een hydraulische pers de grammofoonplaten worden geperst. Een deel van de productie wordt nog gefabriceerd van schellakmateriaal, maar meer en meer komt het moderne kunstharsmateriaal — een copolymeer van vinylchloride en vinylacetaat — op de voorgrond (langspeelplaten). Verschillende fazen uit het fabricageproces worden nader besproken.

[9]) E. Blasberg en A. de Groot, Philips techn. T. **15**, 1-10, 1953 (fig. 8).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

DE EM 75, EEN ELECTRONENMICROSCOOP VAN VEREENVOUDIGDE CONSTRUCTIE

door A. C. van DORSTEN en J. B. Le POOLE *).

621.385.833

De electronenmicroscoop in zijn tegenwoordige vorm is nog steeds een gecompliceerd en kostbaar instrument. Dit beperkt de kring van de gebruikers. Het is dan ook niet te verwonderen dat er van de zijde van de constructeurs pogingen zijn en worden ondernomen om het instrument, zoveel mogelijk met behoud van zijn gunstige eigenschappen, te vereenvoudigen. Hierbij loopt het streven naar een minder gecompliceerde bouw en naar eenvoud van de bediening in het algemeen parallel met het streven naar een lagere prijs.

De magnetische electronenmicroscoop die hier wordt beschreven, is in het bijzonder wat betreft de electrische uitrusting aanmerkelijk eenvoudiger dan de meeste instrumenten van dit soort. Hij bevat geen enkele versterkbuis. Toch heeft hij, behalve andere waardevolle eigenschappen, een goed scheidend vermogen (op zijn minst 100 Å).

Inleiding

Behalve de EM 100, een magnetische electronenmicroscoop met een zeer groot scheidend vermogen, vervaardigt Philips sinds enige tijd een kleinere en eenvoudiger electronenmicroscoop, de EM 75. Bij de ontwikkeling van dit instrument werd vooropgesteld dat het een iets geringer scheidend vermogen mocht bezitten, nl. van ca. 100 Å. Het bleek mogelijk dit instrument zoveel minder kostbaar te maken en zoveel eenvoudiger in het gebruik, dat het doen van electronenmicroscopische onderzoekingen hiermee wellicht binnen het bereik zal komen van een veel ruimere kring van wetenschappelijke onderzoekers dan tot dusver.

De grondgedachte van het nieuwe instrument is het gebruiken van een objectieflens met uiterst korte brandpuntsafstand. In dit artikel zal worden uiteengezet dat op deze wijze een electronenmicroscoop kan worden gemaakt die voor een gegeven scheidend vermogen relatief lage eisen stelt aan de constantheid van stroom en spanning. Anders gezegd: de aberraties van het beeld die een gevolg zijn van electrische fluctuaties, hebben een relatief geringe grootte. In analogie met de optische microscoop kunnen we deze aberraties „chromatisch" noemen (zij ontstaan doordat de instelling van de microscoop niet past bij de snelheid der electronen oftewel de golflengte der electronenstralen).

Het is wellicht interessant hierbij op te merken dat het verband: geringe chromatische beeldfout dank zij korte brandpuntsafstand, zich niet beperkt tot electronenlenzen doch evenzeer geldt voor optische vergroting door middel van een glazen lens. In het bijzonder geldt het daar als men uitgaat van een enkelvoudige, dus ongecorrigeerde lens. Dit was het geheim van de door Antoni van Leeuwenhoek in de 17e eeuw gemaakte microscopen; hij reduceerde de gebreken van de enkelvoudige glazen lens tot een minimum door lenzen van minuscule afmetingen te vervaardigen, met zo kort mogelijke brandpuntsafstand.

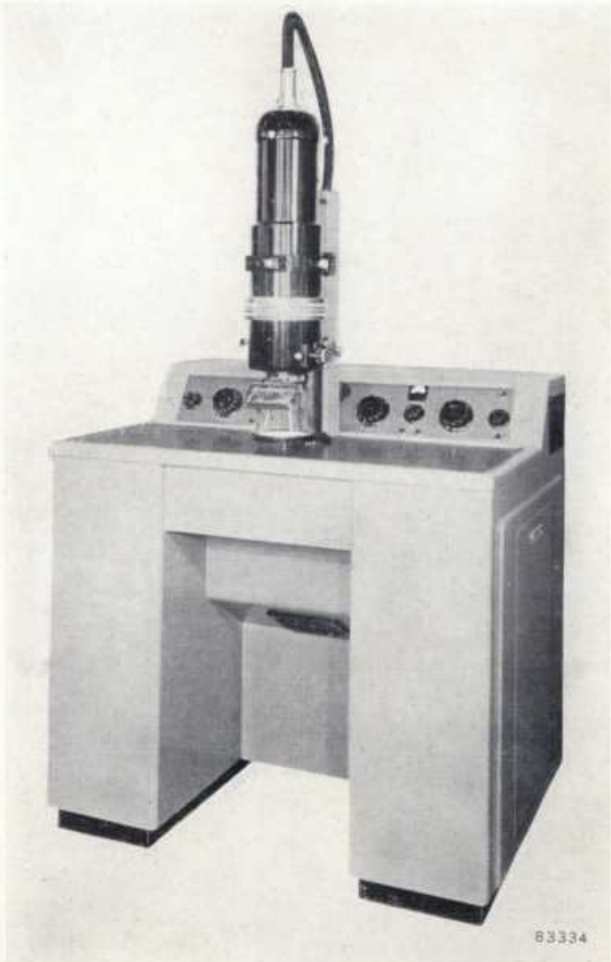

Fig. 1. De kleine electronenmicroscoop EM 75 (voor 75 kilovolt, type 11981). De electronenbundel doorloopt de verticaal geplaatste microscoopbuis van boven naar beneden. In de lessenaar zijn de pompinstallatie en de gehele electrische uitrusting ondergebracht.

*) Techn. Phys. Dienst T.N.O. en T.H. Delft.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De principes en enige uitvoeringsvormen van de magnetische electronenmicroscoop zijn reeds eerder in dit tijdschrift beschreven [1] [2] [3]). In het volgende zullen wij in hoofdzaak trachten de verschillen van het nieuwe instrument ten opzichte van andere instrumenten van dit soort in het licht te stellen. Het instrument is in *fig. 1* afgebeeld. Het is een zg. tweestapsmicroscoop, die een drietal electronenlenzen bevat: condensor, objectief en projector. Aan de objectieflens, waarin zoals gezegd de pointe van het nieuwe instrument is te zoeken, en aan de projectorlens zullen wij nu eerst een nadere beschouwing wijden.

Brandpuntsafstand en chromatische aberratie

Een magnetische electronenlens bestaat uit een rotatiesymmetrisch magnetisch veld, waarvan de as samenvalt met die van de invallende bundel electronen (z-richting, *fig. 2*) en dat werkzaam is over een, meestal kort, stuk van de electronenbaan. Het

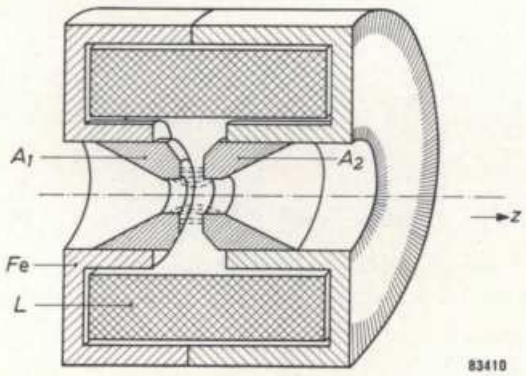

Fig. 2. Magnetische electronenlens. L spoel, Fe ijzeren mantel; A_1, A_2 poolschoenen. De electronen lopen nabij de z-as, dit is de as van het rotatiesymmetrische magneetveld van de lens.

veld wordt opgewekt door een spoel waardoor een stroom gaat, met andere woorden: door een zeker aantal ampèrewindingen (bij sommige constructies wordt het veld verkregen door een permanente magneet, die wij dan aequivalent mogen stellen aan een aantal ampèrewindingen). Om de spoel heen brengt men een mantel aan van een ferromagnetische stof, en erbinnen plaatst men dito poolschoenen. Zodoende concentreert men het veld nabij de kleine tussenruimte tussen de poolschoenen; deze zijn van een boring voorzien waar de electronenbundel doorheen loopt.

De brandpuntsafstand f van zo'n lens, voor electronen die een versnellingsspanning V hebben doorlopen, wordt bij benadering gegeven door de volgende evenredigheid (zie bijv. het aangehaalde artikel [1])):

$$\frac{1}{f} \sim \frac{1}{V} \int_{-\infty}^{+\infty} B^2 \, dz \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

B is de inductie op de z-as, langs welke geïntegreerd wordt. De formule voor f bevat in feite een reeks alternerende termen met opklimmende machten van B^2; voor het geval van een „dunne", niet te sterke, lens is de eerste term van de reeks voldoende.

Kleine fluctuaties ΔV van de spanning V veroorzaken veranderingen Δf van de brandpuntsafstand. Uit (1) volgt:

$$\Delta f = f \frac{\Delta V}{V} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Iets dergelijks geldt voor fluctuaties ΔI van de bekrachtigingsstroom I, waardoor de magnetische inductie B op alle punten van het veld op en neer gaat. Beschouwen we nu speciaal de objectieflens, dan kunnen we zeggen dat door de bedoelde fluctuaties het voorwerpsvlak, d.i. het vlak dat scherp wordt afgebeeld op het vast opgestelde fluorescentiescherm, géén vaste plaats in de ruimte heeft, doch in axiale richting heen en weer schuift (terwijl het hoofdvlak van de lens nagenoeg op zijn plaats blijft). Het in de microscoop geplaatste voorwerp (preparaat) zal zich dus in het algemeen op een afstand Δv vóór of achter het voorwerpsvlak bevinden (*fig. 3*). Hierdoor ontstaat de „chromatische" onscherpte tijdens het visueel waarnemen of fotografisch vastleggen van het beeld.

Bij niet te kleine vergroting valt het voorwerpsvlak bijna samen met het brandvlak; dus is:

$$\Delta v \approx \Delta f. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Daarmee zien wij het in het begin gestelde kwalita-

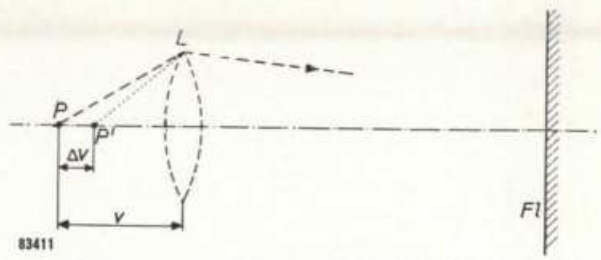

Fig. 3. Varieert de versnellingsspanning der electronen of de bekrachtigingsstroom van de (hier symbolisch getekende) objectieflens L, dan wordt op het fluorescentiescherm Fl niet meer het vlak van het preparaat P afgebeeld, doch een Δv verschoven vlak P' (v = voorwerpsafstand van de objectieflens).

[1]) J. B. Le Poole, Een nieuw electronenmicroscoop met continu regelbare vergroting, Philips techn. T. **9**, 33-46, 1947.

[2]) A. C. van Dorsten, W. J. Oosterkamp en J. B. Le Poole, Een experimenteel electronenmicroscoop voor 400 kilovolt, Philips techn. T. **9**, 193-201, 1947.

[3]) A. C. van Dorsten, H. Nieuwdorp en A. Verhoeff, De Philips electronenmicroscoop voor 100 kV, Philips techn. T. **12**, 33-51, 1950.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

tief reeds bevestigd. Immers, de chromatische onscherpte zal in ieder geval groter worden naarmate het voorwerpsvlak meer verschuift. Nu is Δv volgens verg. (3) en (2) evenredig met f. Door een objectieflens met zeer korte brandpuntsafstand te gebruiken, kan men dus voor een gegeven chromatische onscherpte relatief grote spannings- en stroomfluctuaties toelaten.

Om het verband nauwkeuriger te overzien, kunnen wij de chromatische onscherpte analyseren in twee bijdragen: een geometrische onscherpte, δ_g, en een buigingsonscherpte, δ_b. De eerste blijkt gegeven te worden door:

$$\delta_g = 2\,a_0\,\Delta v, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

de laatste door:

$$\delta_b = 3\sqrt{\lambda\,\Delta v}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Hierin is λ de golflengte der electronenstralen, en $2a_0$ de openingshoek van de electronenbundel aan de voorwerpszijde. Deze openingshoek heeft voor ieder punt van het voorwerp een andere waarde, afhankelijk van de plaatselijke dikte en dichtheid van het preparaat. Dit is immers juist hetgeen de afbeelding in de electronenmicroscoop zichtbaar doet worden, dwz. contrasten in het beeld doet ontstaan: de verstrooide electronenbundels, afkomstig van verschillende voorwerpspunten, worden ten gevolge van hun verschillende openingshoek in verschillende mate door het objectiefdiafragma onderschept en vertonen daardoor bij hun vereniging in het beeldvlak intensiteitsverschillen. Voor samengestelde (niet overal zeer dunne) objecten, als met een electronenmicroscoop normaal bestudeerd worden, kunnen we bij „verlichting" door een vrijwel evenwijdige bundel electronen een maximale waarde $a_0 = 3\cdot10^{-3}$ radiaal aannemen.

Het ontstaan van de geometrische onscherpte kan aan de hand van *fig. 4* worden toegelicht. Het beeld van het voorwerp ligt door de veranderde brandpuntsafstand niet in het vlak van het scherm, doch op een afstand Δb hiervan (b is de beeldafstand, v de voorwerpsafstand). Een punt van het voorwerp wordt derhalve op het scherm afgebeeld als een cirkeltje met diameter $2r_i \approx 2a_i\,\Delta b$; $2a_i$ is de (zeer kleine) openingshoek van de electronenbundel aan de beeldzijde. Is M de vergroting ($= b/v$), dan kan in het beeld een voorwerpsdetail ter grootte $2r_i/M$ niet worden onderscheiden van het onscherptecirkeltje, dwz. dit is de onscherpte δ_g, betrokken op het voorwerp („scheidend vermogen"). Volgens de wet van Helmholtz-Lagrange is $a_i = a_0/M$, en uit de geometrisch-optische lenzenformule

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

volgt voor de afstanden Δb en Δv de betrekking:

$$\Delta b = M^2 \Delta v.$$

Zo krijgt men verg. (4):

$$\delta_g = \frac{1}{M}\,2r_i = \frac{1}{M}\,2a_i\,\Delta b = 2a_0\,\Delta v.$$

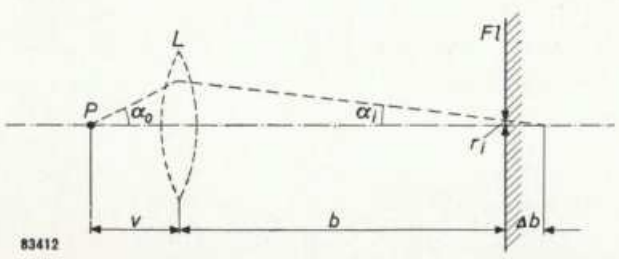

Fig. 4. Ter toelichting van de geometrische onscherpte, δ_g. P preparaat, L electronenlens, Fl fluorescentiescherm. (Van de projectorlens kunnen we hier afzien.)

Het ontstaan van de chromatische buigingsonscherpte is het eenvoudigst in te zien voor een „ondoorlatend" objectdetail met een scherpe rand (*fig. 5*). Achter het objectdetail is de verstrooiing zo groot, dat zo goed als geen electronen van

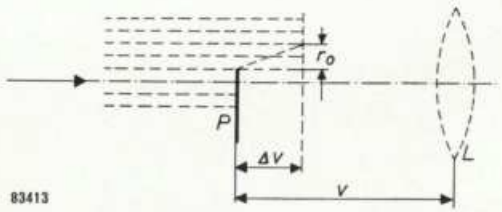

Fig. 5. Ter toelichting van de buigingsonscherpte, δ_b. Een evenwijdige electronenbundel valt van links op een ondoorzichtig object P. De „schaduw" die het object werpt op het werkelijke, een afstand Δv verder gelegen, voorwerpsvlak, wordt door de objectieflens L scherp op het fluorescentiescherm afgebeeld. De schaduw zelf is echter onscherp ten gevolge van de buiging van de electronenstralen aan de rand van het object.

hieruit door het diafragma gaan; naast het objectdetail gaan de, vrijwel evenwijdig invallende, electronenstralen zonder verstrooiing rechtdoor. In het voorwerpsvlak (P' volgens fig. 3) hebben wij een „schaduw" van het object, en deze schaduw (die scherp in het beeldvlak wordt afgebeeld) zou bij geringe afstand Δv nog zeer getrouw zijn aan het object, ware het niet dat aan de rand van het objectdetail, door de golfnatuur van de electronenbundel, buigingsverschijnselen optreden. Er ontstaat een (eerste) buigingsmaximum op een afstand r_0 van de rand. Men vindt r_0 door het beginsel van Huygens toe te passen, dat in ons geval zegt: staat in een vlakke golf een voorwerp, dat in een verder gelegen vlak delen van het golffront doet ontbreken, dan treedt in dit vlak een maximale storing op daar waar stralen uitgaand van een punt van de voorwerpsrand een wegverschil van de orde van λ of groter hebben ten opzichte van de ongestoorde golf. Dus volgens fig. 5:

$$\sqrt{r_0^2 + (\Delta v)^2} - \Delta v = \lambda,$$
$$r_0^2 = 2\lambda\,\Delta v + \lambda^2.$$

Daar $\lambda \ll \Delta v$ is (anders zouden we de verschuivingen Δv kunnen verwaarlozen!), krijgt men $r_0 = \sqrt{2\lambda\Delta v}$. Door $2r_0$ wordt ongeveer de breedte gegeven van de, naar Fresnel genoemde, buigingsonscherpte bij afbeelding van een punt, die voor ons van belang is:

$$\delta_b = 2r_0 \approx 3\sqrt{\lambda\Delta v}.$$

Twee deeltjes kunnen nog gescheiden worden waargenomen als hun respectievelijke buigingsfiguren elkaar gedeeltelijk bedekken. De diameter van de kleinste te scheiden deeltjes is daardoor ongeveer $\frac{1}{2}\delta_b$.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Volgens (4) is de geometrische onscherpte δ_g evenredig met Δv, dus ook evenredig met de brandpuntsafstand f (zie verg. 2 en 3); volgens (5) is de buigingsonscherpte δ_b evenredig met $\sqrt{\Delta v}$, dus evenredig met de wortel uit de brandpuntsafstand. Bij de kwantitatieve uitwerking, met de reeds genoemde openingshoek (α_0), met een golflengte λ die beantwoordt aan een versnellingsspanning $V = 75$ kV, en met de in de EM 75 gerealiseerde brandpuntsafstand $f = 0{,}8$ mm van de objectieflens, vinden wij:

a) dat de geometrische onscherpte δ_g waarmee in de practijk rekening gehouden moet worden, groter is dan de buigingsonscherpte δ_b;

b) dat voor een geometrische onscherpte van 70 Å de relatieve spanningsvariatie $\Delta V/V$ maximaal $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ mag bedragen. Deze mate van constantheid is natuurlijk niet permanent vereist, doch slechts gedurende de tijd die verloopt tussen het scherp stellen en het beëindigen van de belichting van de film. Bij zulk een waarde van δ_g wordt, mede in aanmerking genomen de niet van fluctuaties afhankelijke onscherpte-oorzaken (sferische aberratie en astigmatisme van de lens enz.), het scheidend vermogen beter dan 100 Å.

Daar de brandpuntsafstand van een magnetische lens afhangt van de grootheid I^2/V (zie verg. 1), zijn de eisen wat betreft de constantheid van de lensstroom I juist tweemaal zo zwaar als voor V; in het beschouwde geval geldt dus voor $\Delta I/I$ de maximaal toelaatbare [4]) waarde van $0{,}75 \cdot 10^{-3}$.

Deze mate van constantheid kan men nog goed realiseren met behulp van een eenvoudige zg. magnetische stabilisator, die een transformator met verzadigde kern bevat. Electronenbuizen komen hierbij in het geheel niet te pas.

Bij het volgen van deze uiteenzetting zal de lezer wellicht al de vraag gesteld hebben, waarom wij, om fluctuaties te vermijden, geen gebruik maken van permanent-magnetische lenzen. De constructie van lenzen is met de moderne permanent-magnetische materialen zeer goed mogelijk [5]), en het probleem van het constant houden van de magnetische inducties in de lenzen is dan afdoende opgelost. Het technisch veel moeilijker en slechts met meer kosten op te lossen probleem van het constant houden van de versnellingsspanning echter blijft bestaan en weegt zelfs zwaarder: men kan nl. lenzen met permanente magneten nimmer zeer korte brandpuntsafstanden geven, zodat de invloed van de chromatische onscherpte relatief groot is.

Het verwezenlijken van een objectieflens met zeer korte brandpuntsafstand

In het vorenstaande is vermeld dat de objectieflens van de EM 75 een brandpuntsafstand van 0,8 mm bezit. Kan men de brandpuntsafstand niet nog korter maken, om een nog geringere gevoeligheid voor fluctuaties te verkrijgen? Wij zullen laten zien dat men bij de genoemde waarde ongeveer aan de grens is van wat met niet te kostbare middelen — daar gaat het toch bij de beschreven doelstelling ten slotte om — kan worden verwezenlijkt.

De belangrijkste parameters die men voor het doel in de hand heeft, zijn: de keuze van het staal voor de poolschoenen, de lengte S van de spleet tussen de poolschoenen (*fig. 6*), de diameter D van de boring der poolschoenen, en de sterkte van de bekrachtiging.

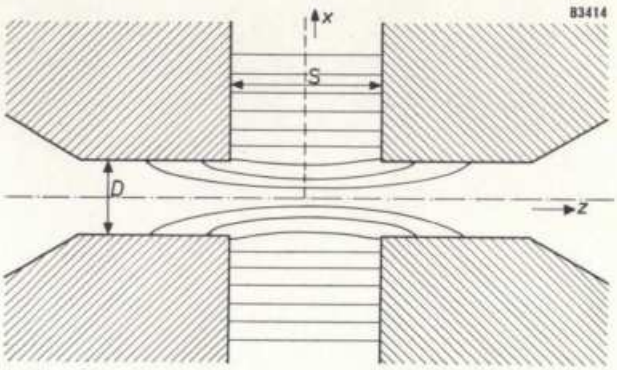

Fig. 6. De configuratie van een magnetische lens wordt gekenmerkt door de diameter D van de boring, waardoor de electronen lopen (z-richting), en de lengte S van de spleet tussen de poolschoenen.

Uit verg. (1) kan men concluderen dat een korte brandpuntsafstand verkregen zal worden indien men zorgt dat de inductie B over een zo lang mogelijk stuk van de electronenbaan zo groot mogelijk is. Bij een gegeven lens wordt B over de gehele linie groter als men een sterkere bekrachtiging toepast. Een grens wordt hieraan gesteld door de magnetische verzadiging van het staal. De inductie moet in de poolschoenen, vooral rondom de boring, zo ver beneden de verzadiging blijven dat de permeabiliteit μ nog een grote waarde heeft, bijv. 1000. Bij grotere inducties, bijv. zo dicht bij de verzadiging dat de permeabiliteit tot beneden een waarde van

[4]) De fluctuaties van I zowel als van V worden veroorzaakt door schommelingen van de netspanning. Aangezien een toeneming van I een tegenovergestelde invloed op de brandpuntsafstand heeft als een toeneming van V, zou men kunnen menen dat de fluctuaties van I en V elkaar ten dele compenseren, en wel in dier voege dat men kan volstaan met voor de netspanning (waarmee I en V evenredig zijn) de relatieve fluctuaties te beperken tot $1{,}5 \cdot 10^{-3}$. Deze redenering gaat echter niet op, daar de voedingsapparaten voor de lensstromen en voor de versnellingsspanning verschillende traagheid bezitten, zodat de gecorreleerde fluctuaties ΔI en ΔV niet tegelijkertijd optreden.

[5]) B. von Borries, Kolloid-Z. **114**, 164-167, 1949. J. H. Reisner en E. G. Dornfeld, J. appl. Phys. **21**, 1131-1139, 1950.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

50 is gedaald, vertonen de in aanmerking komende staalsoorten plaatselijke ongelijkmatigheden in de permeabiliteit. Daar onmiddellijk buiten het ijzer de inductie $1/\mu$ maal zo groot als in het ijzer is, zal ten gevolge van de ongelijkmatigheden het op de electronen werkende veld ongelijkmatig, met name niet rotatiesymmetrisch zijn. Zulke gebreken van het veld kunnen zowel de afbeelding astigmatisch maken als de electronenbundel kleine afwijkingen geven. Dit laatste betekent dat de as van de lens niet recht is en dat men derhalve geen behoorlijke, van de bekrachtiging onafhankelijke, centrering kan bereiken. Op de gevolgen van onvoldoende centrering komen we hieronder terug.

Bij de door ons gebruikte cobalt-ijzerlegering, die een zeer hoge verzadiging heeft, kunnen wij de bekrachtiging zo ver opvoeren dat de inductie in de spleet tussen de poolschoenen ongeveer 1,8 Wb/m² (18 000 gauss) bedraagt. Op de gevaarlijkste punten van het magnetisch circuit is dan nog $\mu \geqq 1000$.

Het probleem is nu teruggebracht tot het kernpunt: de keuze van de spleetlengte S en de boringdiameter D.

Wij beschouwen het verloop van het magnetische veld in twee onderling loodrechte richtingen, nl. langs de as van de lens (de z-as), en loodrecht daarop langs een willekeurige straal in het symmetrievlak van de lens (x-as; zie fig. 6). Dit veldverloop hangt alleen af van de verhouding S/D en kan zowel door berekening als door meting worden gevonden [6]). In *fig. 7* is het verloop langs de x-as, in *fig. 8* dat langs de z-as getekend, voor een reeks waarden van S/D.

Men ziet dat het veld in het middelpunt van de lens een zadelpunt heeft: voor de x-richting is de inductie in dit punt minimaal, voor de z-richting maximaal. De bekrachtiging denken wij ons zo ver opgevoerd dat de maximale inductie in de spleet, d.i. dus de inductie ver genoeg van de boring, de boven vermelde waarde van 1,8 Wb/m² bereikt. (fig. 7). Uit fig. 8 blijkt dan dat men bij gegeven spleetlengte S de boring diameter D klein, en bij gegeven diameter D de lengte S groot moet maken, om op een zo lang mogelijk stuk van de electronenbaan (z-as) grote inducties te verkrijgen. Een volledige inzicht geeft *fig. 9*. Hierin is voor elke combinatie van waarden S en D de brandpuntsafstand af te lezen die verkregen wordt bij de sterkste toelaatbare bekrachtiging (zie boven). De figuur leert dat men bij uiteenlopende waarden van D een zelfde kleine brandpuntsafstand kan realiseren, mits men maar S groot genoeg maakt. Nu is echter het aantal ampèrewindingen dat men nodig heeft om in de spleet de vastgestelde inductie van 1,8 Wb/m² op te wekken, in ruwe benadering evenredig met de spleetlengte S (de spleet representeert verreweg het grootste deel van de magnetische weerstand van het circuit). Voor een economische constructie ziet men zich daarom genoopt de diameter van de boring zo klein mogelijk te kiezen.

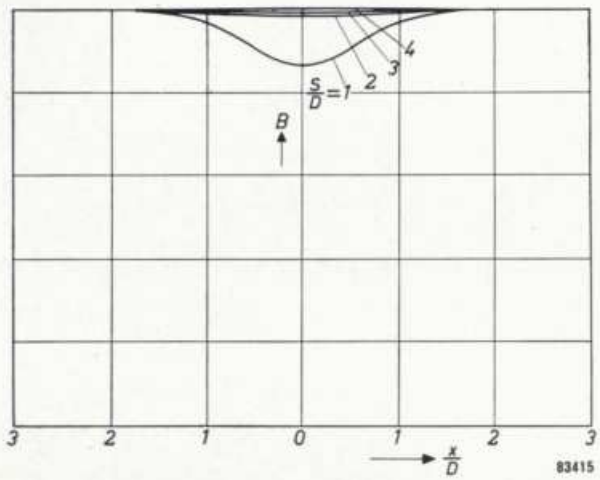

Fig. 7. Verloop langs de x-as, zie fig. 6, van de magnetische inductie B, voor lenzen met verschillende waarden van S/D (het verloop van het veld als functie van x/D hangt alleen van deze verhouding af). Aangenomen is dat elke lens zo ver bekrachtigd wordt dat de maximale in de spleet optredende inductie een gegeven waarde bereikt (waarbij nl. nog geen storende verzadiging in het staal van de poolschoenen optreedt).

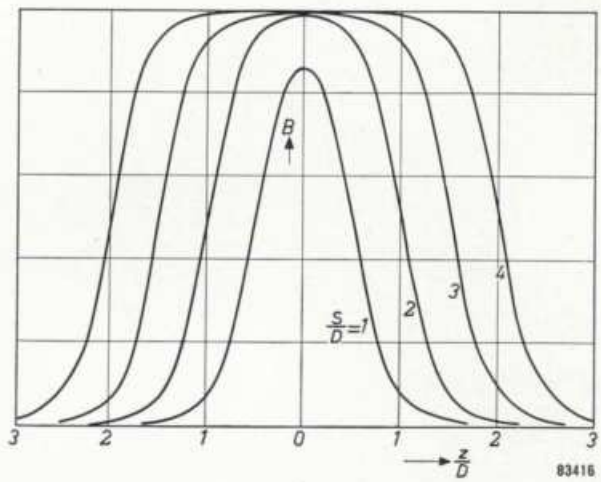

Fig. 8. Verloop langs de z-as van de magnetische inductie B, voor verschillende waarden van S/D. De inductie in $z = 0$ is gelijk aan die in $x = 0$ van fig. 7; het veld heeft hier een zadelpunt.

Een grens wordt hieraan gesteld door de beeldveldkromming. De electronenbundel moet een bepaalde doorsnede hebben, voldoende om van het object een zodanig gedeelte te „verlichten" als — bij de kleinste vergroting waarmee men de microscoop wil laten werken — aan de grootte van het fluorescentiescherm beantwoordt. Om een storende beeld-

[6]) Voor een meetmethode, zie bijv.: A. C. van Dorsten en A. J. J. Franken, Philips techn. T. **14**, 338-341, 1952.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

veldkromming te vermijden, moet men de boring van de poolschoenen wijd maken ten opzichte van de noodzakelijke bundeldoorsnede. Voor de objectieflens van de EM 75 kozen wij op grond hiervan [7]) een boringdiameter $D = 0{,}5$ mm.

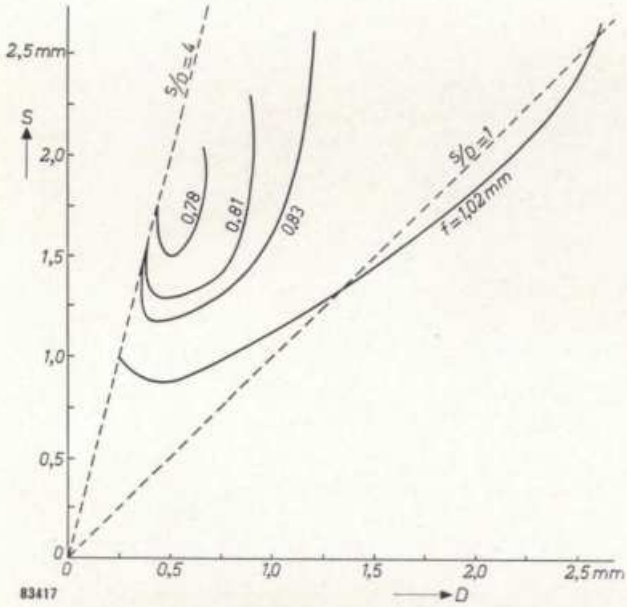

Fig. 9. Voor lenzen met verschillende boring D en spleet S is de brandpuntsafstand f berekend die verkregen wordt als de lens zo wordt bekrachtigd, dat de inductie in de spleet 1,8 Wb/m² bedraagt. De versnellingsspanning voor de electronen is op 75 kV gesteld. Punten met gelijke f in dit diagram zijn door lijnen verbonden. (De krommen lopen aan het linker einde iets op, en schijnen aan het rechter einde weer te gaan teruglopen; deze effecten, waarvan nog niet geheel duidelijk is of zij reëel zijn of slechts door de benaderingen van de berekening erin gebracht, hebben in het S-D-gebied dat in de tekst wordt beschouwd geen noemenswaardige invloed.)

De spleetlengte S bedraagt bij deze lens 2 mm. Met deze waarden is de reeds genoemde brandpuntsafstand van ongeveer 0,8 mm verkregen.

Dat het niet veel nut heeft, S groter dan 2 mm te maken, ziet men duidelijk in fig. 9: de brandpuntsafstand daalt asymptotisch tot een grenswaarde (of schijnt zelfs weer iets toe te nemen). Reeds bij $S = 1{,}3$ mm is de kleinste waarde nagenoeg bereikt. De meerdere ampèrewindingen, nodig voor $S = 2$ mm, zijn dan ook in feite niet gerechtvaardigd door de geringe verdere daling van f, doch eenvoudig door de behoefte aan voldoende ruimte tussen de poolschoenen om hier het object en het objectiefdiafragma te kunnen inbrengen (zie hieronder, fig. 12 en 15).

[7]) Bij een fluorescentiescherm van 90 × 90 mm en een kleinste vergroting van 1200× is de grootste objectdiameter ruim 100 μ, d.i. ca. 20 % van de boringdiameter. In ons geval ligt dan het object in de hoeken en in het midden niet meer dan 1,5 μ buiten het gekromde voorwerpsvlak. Dit is ongeveer dezelfde Δv als men uit vergelijking (4) berekent voor $\delta_g = 70$ Å en $\alpha_0 = 3{\cdot}10^{-3}$ rad

Wij moeten nog even stilstaan bij de vermelde asymptotische daling van de brandpuntsafstand f. Fig. 8 laat zulk een gedrag niet vermoeden: bij gegeven D en toenemende S/D krijgt men op steeds langere stukken van de as hoge inducties, nabij 1,8 Wb/m², wat volgens verg. (1) tot een steeds kleinere f zou moeten leiden. Maar bij zulke „dikke" (of beter: lange) lenzen als we nu beschouwen, geldt de tot één term vereenvoudigde verg. (1) al lang niet meer. Om het gedrag van f bij langer wordende lens te begrijpen, kan men het best een electron dat bijv. van links evenwijdig aan de as het magnetische veld binnentreedt, op zijn baan volgen. In *fig. 10* is de baan voor drie lenzen getekend. Het electron bereikt

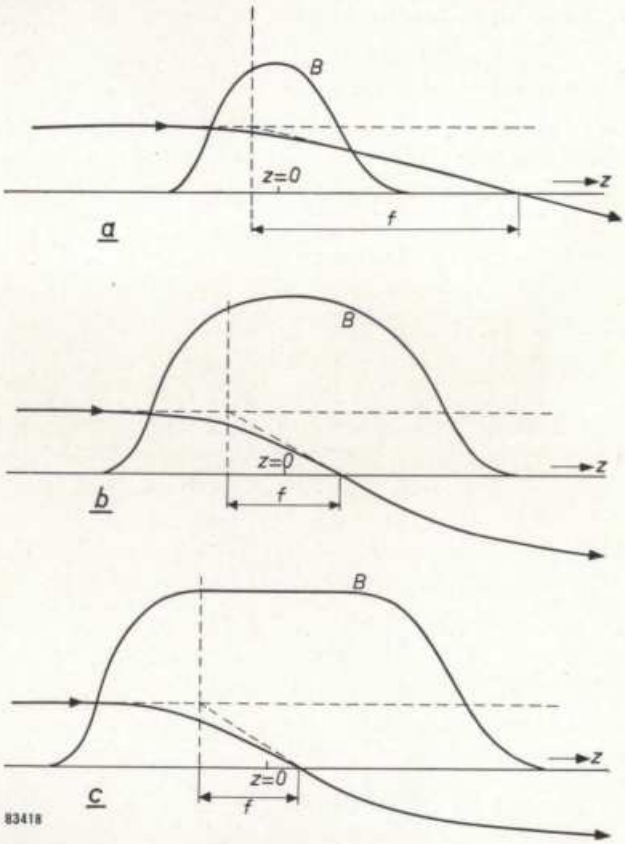

Fig. 10. Baan van een electron dat van links komend evenwijdig aan de as het magneetveld van een electronenlens binnentreedt. Het verloop langs de as van de inductie B is mede getekend. *a*) Relatief „dunne" lens (S/D klein). *b*) Langere lens. *c*) Zeer lange lens.

De brandpuntsafstand, d.i. de afstand van brandpunt tot hoofdvlak, vindt men voor het geval van een objectieflens door aan de baan in het snijpunt met de as de raaklijn te tekenen en het snijpunt van deze raaklijn met de verlengde aanvangsrichting van het electron te bepalen; dit laatste snijpunt immers geeft de ligging van het, gestippeld getekende, hoofdvlak aan. (Bij gebruik als projector daarentegen vindt men de brandpuntsafstand door de genoemde raaklijn te vervangen door de rechtlijnige electronenbaan voorbij het veld. De snijpunten van het achterwaartse verlengde van deze rechtlijnige baan met de as en met de verlengde aanvangsrichting geven nu het brandpunt resp. de ligging van het hoofdvlak.)

De component van de baan loodrecht op het vlak van tekening (beelddraaiing) is hier verwaarloosd; hij is voor de beschouwing van de brandpuntsafstand niet van belang.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

op een zeker punt de as van de lens. De stralengang in een objectieflens is nu in werkelijkheid omgekeerd: het object moet men zich in (of eigenlijk vlak naast) het zojuist genoemde snijpunt geplaatst denken, en een uit het object komend (verstrooid) electron volgt de getekende baan naar links. De effectieve brandpuntsafstand vindt men door de gestippeld getekende constructie. Men ziet in de figuur dat bij sterke lenzen het object vrij ver binnen het magnetische veld komt te staan („immersielens"), en men ziet verder, hoe een verlenging van de lens daardoor slechts weinig effect meer heeft op de brandpuntsafstand van het objectief [8]).

Men moet zich bij zulke dikke lenzen ook afvragen of de stelling die ons uitgangspunt vormde, nog geldt: dat nl. de chromatische aberraties van de objectieflens geringer zullen zijn naarmate deze een kortere brandpuntsafstand heeft. Het variëren van de bekrachtigingsstroom I of de versnellingsspanning V, dat men kan samenvatten tot een variatie van de „bekrachtigingsfactor"

$$k = \frac{(\mathrm{AW})^2}{V},$$

heeft bij een gegeven lens een analoog effect als het veranderen van de lengte van de lens dat hierboven werd beschouwd. Voor eenzelfde lens bij verschillende bekrachtiging k krijgt men analoge figuren als fig. 10*a* en *b* (echter met gelijkvormig veranderend veldverloop). Het is hieruit plausibel dat bij grote waarden van k een variatie hiervan relatief minder invloed zal hebben op f. Dit betekent niet dat de chromatische aberraties, die juist aan fluctuaties van k te wijten zijn, overeenkomstig kleiner worden. Immers, de variatie van k heeft nu ook een verschuiving van het hoofdvlak van de lens ten gevolge: al verandert f inderdaad minder, men krijgt een extra onscherpte doordat als het ware de lens zich verplaatst ten opzichte van het vast opgestelde object [9]). De resulterende chromatische onscherpte (alleen δ_g, die het belangrijkst is) is in *fig. 11* als functie van k uitgezet, voor een aantal objectieflenzen met verschillende verhouding S/D.

Uit fig. 11 kan men afleiden dat de uit fig. 9 getrokken conclusies niet behoeven te worden herzien: voor de gekozen boringdiameter D brengt een langere spleet S — als men telkens tot dezelfde inductie bekrachtigt, waarvoor k ruwweg evenredig met S^2 moet worden gekozen — een geringere onscherpte mee, en het heeft weinig nut $S > 2$ mm te kiezen. Wèl is het blijkens fig. 11 van groot belang, de eenmaal geconstrueerde lens, met $S/D = 4$, steeds tot aan de toelaatbare grens te bekrachtigen, d.i. met $k \approx 170$.

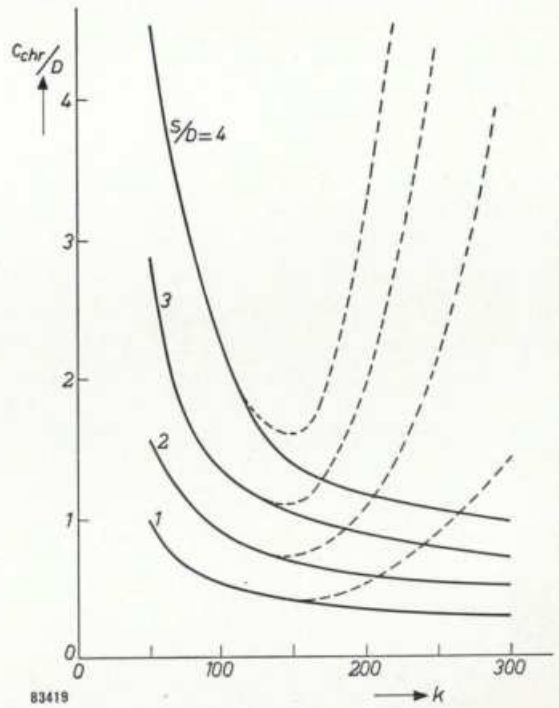

Fig. 11. Chromatische onscherpte voor een aantal magnetische lenzen met verschillende S/D, als functie van de bekrachtigingsfactor k. C_{chr} is de evenredigheidsfactor tussen δ_g en $2\alpha_0$, die bij een nauwkeuriger berekening in de plaats moet treden van Δv in verg. (4). Uitgezet is C_{chr}/D, waardoor men universeel geldige krommen krijgt. De versnellingsspanning werd hier op 80 kV gesteld. De krommen mogen slecht worden gebruikt tot die k-waarde waarbij de maximaal toelaatbare inductie in de spleet tussen de poolschoenen wordt bereikt.

De getrokken lijnen gelden voor gebruik van de lens als objectieflens („immersielens"), de gestippelde bij gebruik als projector.

Het ontwerp van de projectorlens

Wij keren nog even terug tot fig. 10. Bij een projectorlens doorlopen de electronen de gehele lengte van het magnetische veld. Volgt men in fig. 10*b* of *c* een van links komend electron over het snijpunt met de as heen, dan ziet men dat de baan weer naar de as toe gekromd wordt. Het electron zal dus de lens verlaten onder een kleinere hoek ten opzichte van de as dan waaronder het de as passeerde. Dit betekent dat de brandpuntsafstand voor de lens als projector langer is dan voor dezelfde lens als objectief. Het verschijnsel wordt sterker naarmate men de lens langer maakt of bij een gegeven lens de „bekrachtiging" k opvoert. Beide maatregelen zullen

[8]) Staat het object zeer diep in het objectief, dan moeten de electronenstralen, vóór zij op het object vallen (dus nu in fig. 10 van rechts komend), een groot gedeelte van het veld van het objectief doorlopen en ondergaan hier een ongewenste „condensorwerking". Ook om deze reden mag S niet te groot worden gemaakt. In ons geval is de condensorwerking nog niet storend: de uiterst kleine hoek van de (theoretisch evenwijdige) verlichtende electronenbundel wordt er slechts ca. 15 % door vergroot en blijft derhalve klein ten opzichte van α_0 (zie verg. 4).

[9]) Bovendien speelt de hierbij optredende verandering van de vergroting een rol. Zie hiervoor: J. B. Le Poole, Some designs in electron and ion optics, Diss. Delft 1954, blz. 47.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

dus, terwijl ze voor een objectieflens weinig invloed meer op de brandpuntsafstand hebben, voor een projectorlens vanaf een zeker ogenblik een verlenging van de brandpuntsafstand ten gevolge hebben [10]).

Hiermee gaat gepaard een vergroting van de chromatische aberraties; zie de gestippelde lijnen in fig. 11. Het blijkt uit deze figuur dat deze aberraties minimaal worden voor een bepaalde bekrachtigingsfactor k_0, die, merkwaardig genoeg, voor projectorlenzen van alle mogelijke vormen (uiteenlopende S/D) bij ongeveer dezelfde waarde ligt, nl. $k_0 \approx 160$. Bij het passeren van dit „achromatische punt" van de kromme gaat tevens de bij zwakke bekrachtiging van de projectorlens optredende kussenvormige vertekening van het beeld over in een tonvormige. In het achromatische punt is dus niet alleen de invloed van fluctuaties in de lensstroom en in de versnellingsspanning het kleinst, maar ook is de vertekening (isotrope distorsie) hier nul. De projector van de EM 75 is dan ook voor gebruik nabij dit punt ontworpen.

Uitvoering van de electronenlenzen

In *fig. 12* is een vereenvoudigde doorsneetekening van de microscoopbuis gegeven. Van de onderdelen, die in het onderschrift nader aangeduid zijn, bespreken wij eerst de drie electronenlenzen.

De condensorlens is een normale magnetische lens met ingezette poolschoenen. Een diafragma van 0,2 mm diameter bepaalt de grootste instelbare intensiteit van de electronenstraal. Door variatie van de bekrachtiging kan men de brandpuntsafstand en daarmee de openingshoek van de op het preparaat vallende bundel zo regelen dat het beeld op het fluorescentiescherm de gewenste helderheid verkrijgt. De lens is tezamen met het electronenkanon bevestigd in een bus, die in zijn geheel dwars verplaatst kan worden (de hiertoe dienende instelschroeven zijn in de figuur niet getekend). Hierdoor kan de combinatie van electronenkanon en conden-

[10]) Het electron kan bij voldoend lang veld (of voldoend sterke bekrachtiging) de as zelfs opnieuw snijden, eventueel ook nog een derde maal enz.; tussen deze gevallen in wordt de brandpuntsafstand oneindig groot.

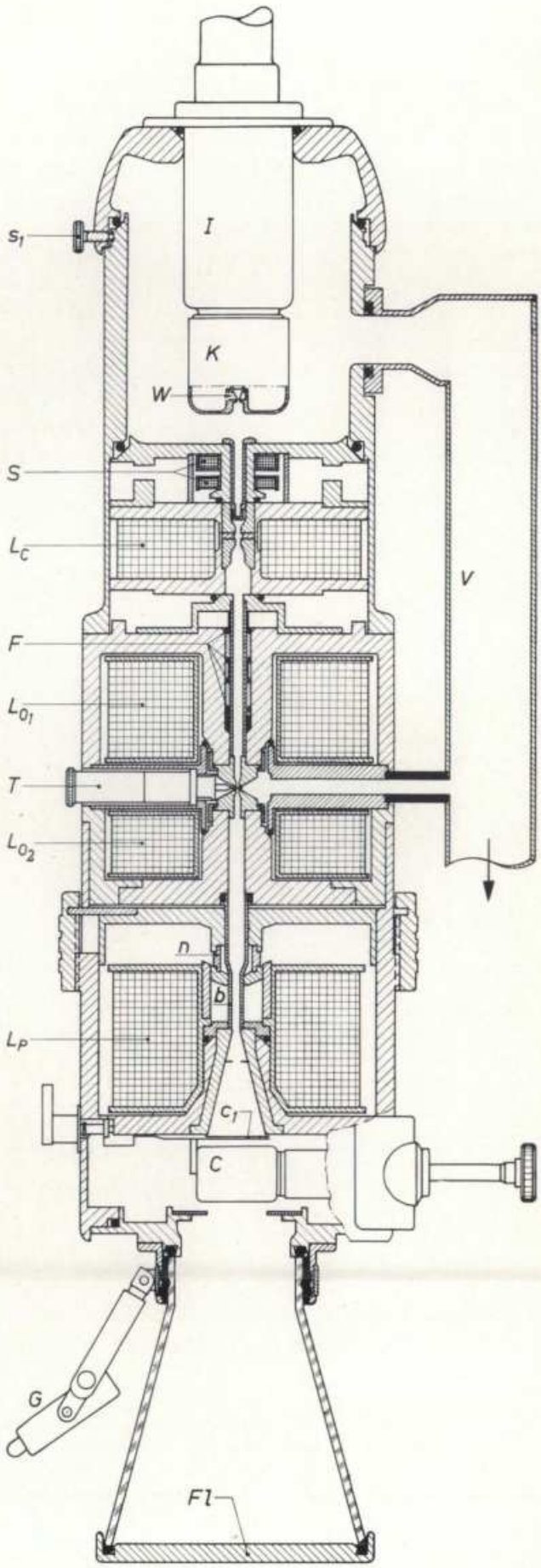

Fig. 12. Doorsnede (vereenvoudigd) van de microscoopbuis van de EM 75. *K* kathode met gloeidraadje *W*; *S* afbuigspoeltjes voor het centreren van de electronenbundel; L_C condensorlens; L_{O_1}, L_{O_2} uit twee helften samengestelde objectieflens met preparaattafel *T*; *F* hulpspoeltjes voor de focussering; L_P projectorlens; *C* camera met bedieningsstang (terwille van de zichtbaarheid in 90° gedraaide stand getekend), c_1 sluiter; *Fl* fluorescentiescherm; *G* waarnemingsloupe; *V* vacuumleiding. De kop van de buis met de doorvoerisolator *I*, die de kathode draagt, kan door drie schroeven (s_1 enz.) zijdelings verplaatst worden, voor eventuele centrering na verwisselen van de gloeidraad.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

sorlens nauwkeurig gecentreerd worden met de objectieflens.

Door de sterke bekrachtiging van de objectieflens komt het voorwerpsvlak — zoals ook bij de EM 100 het geval is [3]) — tussen de beide poolschoenen te liggen. Het was daardoor mogelijk de objectieflens uit twee helften te vervaardigen en de preparaattafel (die ook het objectiefdiafragma bevat) daartussen te plaatsen. De twee helften van de lens zijn vast aan elkaar verbonden door schroeven. De kernstukken dragen de naar elkaar toe gerichte poolschoenen, die met grote precisie vervaardigd zijn uit de vermelde cobalt-ijzerlegering. In het kernstuk van de bovenste lenshelft bevinden zich twee spoeltjes, die met een wisselstroom bekrachtigd kunnen worden en dan aan de electronenbundel een oscillerende uitbuiging geven. Hierdoor wordt de scherpstelling van het beeld op het scherm vergemakkelijkt, zoals reeds is uiteengezet bij de beschrijving van de EM 100 [3]). De onderste helft van de objectieflens heeft als bijzonderheid dat het kernstuk, en daarmee de onderste poolschoen, in zijdelingse richting verschuifbaar is, door middel van (in fig. 12 niet zichtbare) schroeven. Hierdoor kunnen de beide poolschoenen uiterst nauwkeurig ten opzichte van elkaar worden gecentreerd.

De projectorlens is gekenmerkt door een in wijde grenzen varieerbare poolschoenafstand. De bovenste poolschoen nl. is buiten het vacuum aangebracht en kan door draaien van een, de microscoopbuis omvattende, gekartelde ring verticaal ca. 15 mm verschoven worden (*fig. 13*). Hierdoor wordt, bij constante bekrachtiging, de vergroting van deze lens continu van ca. 10× tot ca. 90× gevarieerd. Bij een maximale totale vergroting van de microscoop van ca. 11 000×, heeft men dus de mogelijkheid de totale vergroting continu tot 1200× terug te brengen, zodat men de veelal gewenste aansluiting aan het onderzoek met de lichtmicroscoop krijgt.

Bij het variëren van de vergroting blijft het beeld in alle delen scherp, en het draait niet.

Dat het geen bruikbare methode is, de vergroting van een electronenmicroscoop te variëren door regelen van de bekrachtiging van de projector, of van het objectief, is eerder uitvoerig in dit tijdschrift besproken (zie [1]), pag. 40). Wij herhalen hier alleen dat zulks verband houdt met de wens, een beeld te zien dat ook bij de kleinste vergroting vrij van vertekening is en toch het gehele fluorescentiescherm beslaat. In het geval van de EM 75 mag nog minder aan de bekrachtiging van de projector worden geraakt, om de minimale gevoeligheid voor fluctuaties te handhaven. De bekrachtiging van de objectieflens ligt ten enenmale vast uit hoofde van de voorgeschreven, vaste plaats van het object (en dus van het voorwerpsvlak). In grotere microscopen, zoals de EM 100, realiseert men de regelbare vergroting door gebruik te maken van tussenlenzen, waarvan men de bekrachtiging in wijde grenzen variëren kan. Voor onze eenvoudige microscoop was deze methode niet geschikt, aangezien de door fluctuaties van k veroorzaakte chromatische onscherpte, die we bij het ontwerp van de objectief- en de projectorlens onschadelijk hebben weten te maken, door het achterdeurtje van de tussenlens weer in volle omvang zou worden geïntroduceerd (althans bij het fotograferen). Wij hebben daarom de beschreven oplossing met de verschuifbare poolschoen verkozen; deze is bovendien veel minder kostbaar en voldoet toch uitstekend, vooral dank zij de kunstgreep die hieronder wordt beschreven.

De verschuifbare poolschoen is van een extra magnetische spleet voorzien (het busje n van niet-magnetisch materiaal, fig. 12). Hierdoor wordt een soort vóórlens gevormd, die in de bovenste stand

Fig. 13. De microscoopbuis van de EM 75. Door draaien aan de gekartelde ring, die de microscoopbuis omvat, verschuift men de bovenste poolschoen van de projectorlens.

De ring kan 7/8 van een omwenteling maken; de poolschoen verplaatst zich hierbij 15 mm in verticale richting, waardoor de vergroting een factor 9 wordt veranderd. De wand van de vacuumbuis wordt hier gevormd door een dun buisje van messing (b in fig. 12), dat schuivend past in de boring van de poolschoen, die zich dus buiten het vacuum bevindt.

van de poolschoen, waarbij de projectorlens zo zwak mogelijk is en de vergroting een minimum, de sterkte van het geheel nog met een factor van bijna 2 reduceert. Bij het omlaagschuiven van de poolschoen, als men de lens dus sterker maakt, wordt de extra spleet geleidelijk magnetisch kortgesloten door de weekijzeren geleiding waarin de poolschoen

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zich beweegt. De verzwakkende vóórlens wordt dus geleidelijk uitgeschakeld. Door deze kunstgreep is het mogelijk geworden de verhouding tussen minimale en maximale projectorvergroting, welke bij de normale constructie met één spleet ca. 1:5 bedraagt, te brengen op 1:9.

Bij de verschuiving (wijziging van S, bij gegeven D) worden de aberraties niet merkbaar groter. Wij plukken hier de zoete vruchten van de keuze van het achromatische punt voor de bekrachtiging van de projector, zie fig. 11.

Speciale aandacht vraagt bij deze microscoop de centrering van de electronenlenzen. Gebrekkige centrering kan tot gevolg hebben dat bij kleine fluctuaties van de lensstromen of van de versnellingsspanning het beeld in zijn geheel — zonder onscherp te worden! — verschuift. Voor de visuele waarneming is dit weinig hinderlijk, voor de fotografische vastlegging is het uiteraard funest. Juist doordat geen gebruik gemaakt wordt van een electronische stabilisatie van stroom en spanning, stelt het instrument hogere eisen aan de centrering dan vele meer gecompliceerde electronenmicroscopen.

De hulpmiddelen voor de centrering — zijdelingse verplaatsing van lenzen of poolschoenen — hebben wij hierboven vermeld. De vraag kan worden gesteld of het vinden van de juiste instellingen niet een moeilijk en tijdrovend karwei is. Het is mogelijk gebleken hiervoor een eenvoudige en doeltreffende routinemethode uit te werken. De instructie voor deze methode hoort niet thuis in dit artikel, we willen echter wel vermelden, dat voor de instelling gebruik gemaakt wordt van criteria welke direct aan het electronenoptische gedrag van het systeem ontleend zijn. De onderlinge ligging van de optische assen van twee lenzen controleren wij nl. aan de hand van de beelddraaiing, die aan magnetische lenzen eigen is en die bij variëren van de bekrachtiging verandert. De justering van de poolschoenen van de objectieflens controleren wij bovendien door omkeren van de stroomrichting in deze lens (objectief- en projectorlens zijn hier niet in serie geschakeld): bij volledige centrering vallen de punten waarom het beeld bij variërende bekrachtiging draait, samen voor beide stroomrichtingen. Als normale stroomrichting voor de objectieflens resp. de projector kiezen wij die waarbij de beelddraaiing van de beide lenzen tegengesteld is. Kleine fluctuaties in stroom en spanning veroorzaken dan geen merkbare beelddraaiing, die het gefotografeerde beeld onscherp zou kunnen maken.

In *fig. 14* is een met de EM 75 gemaakte opname gereproduceerd, om een indruk te geven van de normaal verkrijgbare beeldkwaliteit.

Fig. 14. Dierlijke cellulose (Tunicine). Vergroting 20 000 ×. Opname gemaakt met de EM 75. (L. H. Bretschneider, Utrecht.)

Overige onderdelen van de microscoopbuis

Van de verdere onderdelen van de microscoopbuis geven we slechts een summiere beschrijving.

Het electronenkanon onderscheidt zich in principe niet van dat van de vroeger beschreven EM 100 [3]). De gloeidraad is een V-vormig wolfraamdraadje, dat op hoge spanning (maximaal 75 kV) ten opzichte van de metalen wand van de microscoopbuis wordt gebracht. Om de gloeidraad is een kathodekap geplaatst (fig. 12), die op een kleine negatieve potentiaal ten opzichte van de gloeidraad wordt gehouden volgens het beginsel van automatische negatieve roosterspanning. Hij voorkomt

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

daardoor noemenswaardige variaties van de emissiestroom, en hij bewerkt tegelijk een bundeling van de geëmitteerde electronen. De gehele kathode is zo in de kop van de buis gemonteerd dat het gloeidraadje gemakkelijk kan worden verwisseld. De kop kan ten opzichte van de kathoderuimte, waarop hij met een rubbervacuumdichting is geplaatst, over enige millimeters dwars verschoven worden met behulp van drie radiaal geplaatste schroeven. Aldus kan men het electronenkanon, na verwisselen van de gloeidraad, nauwkeurig centreren ten opzichte van de condensorlens. De centrering wordt nog vergemakkelijkt doordat men aan de electronenbundel kleine hoekcorrecties kan meedelen met behulp van vier afbuigspoeltjes, die zich tussen het electronenkanon en de condensorlens bevinden (fig. 12).

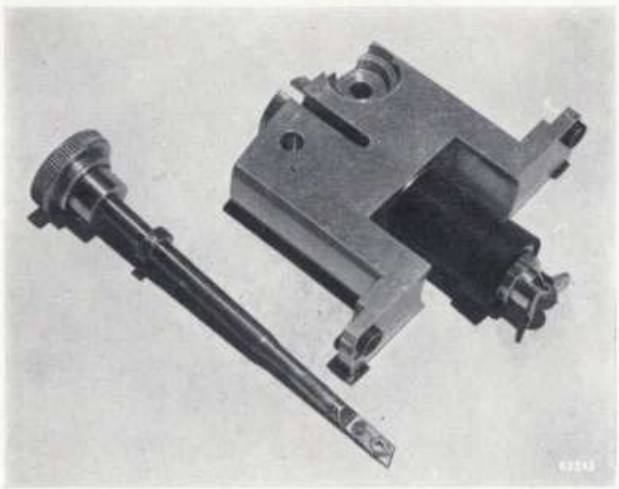

Fig. 15. De preparaattafel en de preparaathouder (links). Het cylindrische middengedeelte van de preparaattafel bevat een vacuumsluis, waardoor de preparaathouder in en uit de microscoopbuis wordt gebracht.

De preparaattafel (*fig. 15*) bestaat uit een metalen blokje, dat men met behulp van twee instelknoppen in twee richtingen loodrecht op de electronenbundel kan verplaatsen, waardoor afzoeken van het preparaat mogelijk is. Het preparaat bevindt zich, als te doen gebruikelijk, op een gaasje of plaatje, dat aan een staafje bevestigd wordt (evenals bij de EM 100). Voor het inschuiven van het staafje bevat de preparaattafel een vacuumsluis. Het preparaat kan, door een kantelbeweging van de preparaattafel, ook ietwat in de asrichting van de microscoopbuis worden verplaatst. Dit is nodig om het object onder alle omstandigheden op de juiste plaats te houden: ten gevolge van de korte brandpuntsafstand van de objectieflens is de tolerantie voor de plaats van het object slechts enige hondersten millimeter.

Het objectiefdiafragma staat in een uitsparing van de preparaattafel en kan evenals het preparaat in drie richtingen worden verplaatst.

Het beeld op het fluorescentiescherm, ter grootte van 90 × 90 mm, wordt bij deze microscoop aan de buiszijde bekeken (dus anders dan bij de EM 100, waarbij men het scherm, evenals dat van een televisie-weergeefbuis, in doorzicht bekijkt); zie fig. 13. Het conusvormige einde van de microscoopbuis is daartoe van glas gemaakt, en wel van loodglas, dat de waarnemers (het beeld kan door verscheidene personen tegelijk waargenomen worden) volledig tegen de van het scherm afkomstige röntgenstraling beschermt. Voor het scherp stellen kan men gebruik maken van een $2^1/_2$ maal vergrotende leesloupe.

Het vastleggen van het beeld geschiedt op rolfilm van 35 mm breed (weer als bij de EM 100). De daartoe ingebouwde camera biedt ruimte aan een filmstrook, voldoende voor 40 opnamen, van 28 × 28 mm. De film brengt men in de electronenbundel door uittrekken van de camerastang met de rechterhand. Hierbij wordt een venster in de camera geopend en tegelijkertijd een vast in de microscoopbuis gemonteerde sluiter gesloten. Daarna belicht men de film, door met de linkerhand deze sluiter te bedienen. Dank zij deze constructie behoefde er geen sluiterbediening op de heen-en-weergaande camera overgebracht te worden. De sluiter is van een in sommige fototoestellen gebruikt type en veroorlooft het vrij nauwkeurig vastleggen van korte belichtingstijden, van de orde van 1 sec. Na de belichting wordt de camerastang weer ingeduwd, waarbij automatisch het filmtransport en het verderschakelen van het telwerk plaatsvinden. Is de filmstrook vol, dan verwijdert men de gehele camera uit de microscoop en zet er een tweede, inmiddels gevulde, camera voor in de plaats. Bij deze werkwijze kan men de nieuwe film, door plaatsen van de gevulde camera in een exsiccator, vóór het gebruik al zoveel mogelijk van water bevrijden, zodat het evacueren van de microscoopbuis na verwisseling van de film niet langer dan ca. 20 minuten behoeft te duren.

Het vacuumsysteem

Bij onze, vereenvoudigde, electronenmicroscoop zou de noodzaak van een vacuumsysteem wellicht nog als de belangrijkste complicatie ten opzichte van een lichtmicroscoop kunnen worden gevoeld. Ook bij dit onderdeel is derhalve naar de grootst mogelijke eenvoud gestreefd. Het voorvacuum wordt verkregen met een roterende oliepomp, het hoogvacuum met een oliediffusiepomp met glazen wand. Het verwarmingselement van deze laatste bestaat

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

uit een dikke spiraalvormige chroomnikkeldraad, die ondergedompeld is in de te verwarmen olie. De warmte wordt bij deze verwarmingsmethode zo doelmatig gebruikt dat volstaan kan worden met een vermogen van ca. 60 watt. Doordat de wanden vrijwel niet verwarmd worden, verspilt men geen vermogen en heeft men tevens het belangrijke voordeel dat geen koeling met water vereist is: de natuurlijke koeling door de lucht houdt de wanden koud genoeg voor condensatie van de oliedamp. Een ander groot voordeel van het geringe vermogen en de daarmee gepaard gaande kleine warmtecapaciteit van het verwarmingselement is dit, dat men bij het evacueren van de microscoopbuis (bijv. na het verwisselen van film of gloeidraad) de vacuumafsluiter ineens mag openen: de buis wordt dan dóór de oliediffusiepomp heen voorvacuum gepompt — een zeer ongewone werkwijze, die in ons geval zonder bezwaar kan worden toegepast omdat het plotseling instromen van lucht de geringe hoeveelheid olie in enige ogenblikken doet afkoelen tot een temperatuur waarbij geen oxydatie van de olie meer behoeft te worden gevreesd.

De roterende voorpomp is trillingsvrij opgesteld, zodat men deze, zonder detriment voor de scherpte van de te nemen foto's, tijdens het werken met de microscoop continu kan laten lopen. Ook de hoogvacuumpomp laat men, als men lucht in de microscoopbuis moet toelaten, na sluiten van de vacuumkraan doorwerken. De bediening van het vacuumsysteem is dus wel uitermate eenvoudig.

De beveiligingen, die in een vacuumsysteem gewoonlijk een grote plaats innemen, konden hier tot één automatisch werkende veiligheidsklep teruggebracht worden. Deze bevindt zich tussen de roterende voorpomp en de oliediffusiepomp. De electrisch bediende klep is open zolang de netspanning op de electromotor van de voorpomp staat. Schakelt men de motor uit of valt de netspanning weg, dan sluit de klep zich automatisch door de werking van de atmosferische druk, waarbij tevens een verbinding geopend wordt tussen de vacuumzijde van de voorpomp en de buitenlucht. Hierdoor kan het nooit gebeuren dat er olie van de roterende pomp in het vacuumsysteem gezogen wordt als de motor tot staan komt — een oude kwaal van vele vacuumsystemen.

Natuurlijk bevat het instrument verder de gebruikelijke beveiliging van de microscoopbuis: een relais dat het op hoogspanning brengen van de kathode pas toelaat nadat een voldoende vacuum in de buis is verkregen.

Het vacuum wordt gemeten door middel van een Philips manometer (volgens Penning).

Vermelding verdient nog de mechanische constructie van het vacuumsysteem. De oliediffusiepomp is binnen de lessenaar van de microscoop opgehangen aan een versterkt deel hiervan, dat zich naar boven voortzet in een verticale vacuumbuis met een inwendige diameter van 50 mm. Deze wijde buis verzekert een behoorlijke pompsnelheid en vervult tevens door zijn zeer stevige bevestiging aan de lessenaar de belangrijke rol van statief voor de microscoopbuis: aan het boveneinde draagt de buis een verbindingsblok, dat met schroeven bevestigd is aan het camera-compartiment van de microscoopbuis. De microscoop is dus slechts in één punt opgehangen en wordt door eventuele trillingen van de omgeving slechts als één geheel in trilling gebracht. Zulke trillingen hebben derhalve geen invloed op de scherpte van de te maken foto's en men behoeft de microscoop niet in een trillingsvrije ruimte of op een speciale fundering te plaatsen.

In het verbindingsblok is de meergenoemde vacuumafsluiter aangebracht, en tevens sluit hier, met een rubberringafdichting (dus niet star verbonden, om het principe van de ophanging in één punt niet te verzaken), een voortzetting van de vacuumbuis aan, die de kathoderuimte en de objectruimte in directe verbinding met de hoogvacuumpomp brengt (fig. 12). Dank zij deze maatregel bedraagt de pomptijd bij koude start niet meer dan ongeveer 15 minuten; bij het verwisselen van het preparaat is na 20 seconden pompen het vacuum hersteld.

De electrische uitrusting

De versnellingsspanning voor de electronen wordt geleverd door een kleine cascadegenerator met drie vacuumventielen. Een regeltransformator maakt het mogelijk de hoogspanning van 0 tot 75 kV te variëren. De generator met de ventielen is in een hermetisch te sluiten olietank ondergebracht. De tank staat op de bodem van de lessenaar, waarin zich verder, behalve de pompen, nog bevinden de magnetische stabilisator voor de netspanning en de chassis voor de voeding van de lenzen, van de afbuigspoelen en van de vacuummeter (*fig. 16*).

De drie lenzen: condensor, objectief en projector, hebben elk een eigen regeltransformator met seleengelijkrichters en afvlakcondensatoren. Alle lenzen kunnen van de stroom nul tot het maximum continu geregeld worden — we hebben gezien dat hiervan o.a. voor de justering van de optische as gebruik wordt gemaakt. De regelknoppen bevinden zich alle op het staande paneel van de lessenaar (fig. 1). Hierop is ook de schakelaar voor het commuteren van de bekrachtiging van de objectieflens aangebracht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

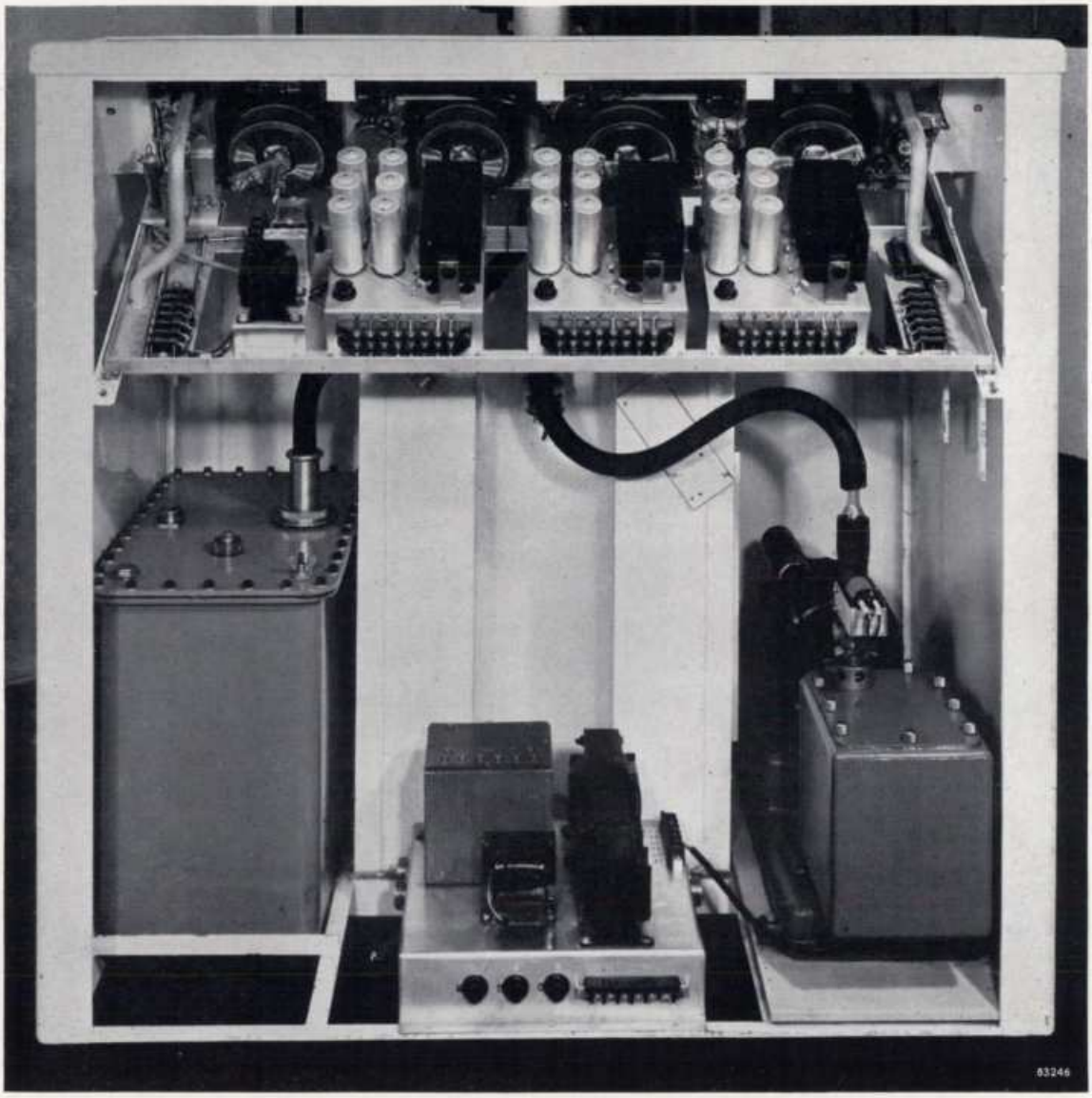

Fig. 16. De lessenaar van de EM 75, van de achterzijde gezien (de achterwand is weggenomen). Links onderaan de kleine tank waarin de hoogspanningsgenerator met de ventielen en de gloeistroomtransformator onder olie is gemonteerd. Rechts onderaan de voorvacuumpomp. Daartussen de magnetische netspanningsstabilisator. Bovenaan de gelijkrichters met afvlakcondensatoren, die de bekrachtigingsstromen voor de drie electronenlenzen leveren. Daarachter ziet men de achterzijde van het paneel met de bedieningsknoppen en schakelaars.

Men ziet dat bij deze electronenmicroscoop geen gebruik gemaakt wordt van „electronische apparatuur". Het instrument bevat geen enkele versterkbuis, en de microscoopbuis zelf is in feite de enige „electronenbuis" in het toestel. Voor een electronenmicroscoop met magnetische lenzen mag zulks wel een unicum heten.

Samenvatting. De kleine electronenmicroscoop EM 75 is geconstrueerd voor een scheidend vermogen van minstens 100 Å. Het instrument bevat drie magnetische lenzen: condensor, objectief en projector. De objectieflens heeft een brandpuntsafstand van slechts 0,8 mm. Hierdoor zijn de „chromatische" aberraties relatief gering. Hetzelfde geldt voor de projectorlens, die bekrachtigd wordt in het zg. „achromatische punt" van zijn karakteristiek. Een en ander betekent dat men voor het gewenste scheidend vermogen vrij grote fluctuaties in de bekrachtigingsstromen I van de lenzen en in de versnellingsspanning V der electronen kan toelaten, zo groot dat het niet nodig is schakelingen voor electronische stabilisatie van I en V toe te passen: er kan worden volstaan met een eenvoudige netspanningsstabilisator van het magnetische type, en de microscoop bevat geen enkele versterkbuis. Behalve deze grote vereenvoudiging in de electrische uitrusting zijn ook vereenvoudigingen in het vacuumsysteem en in de mechanische constructie aangebracht, zonder dat tekort werd gedaan aan de belangrijke eisen van een betrouwbare werking, gering tijdverlies voor het pompen en ongevoeligheid voor mechanische trillingen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ELECTRONISCHE APPARATUUR VOOR DE PERMANENTE CONTROLE VAN TURBINES

door C. von BASEL, H. J. LINDENHOVIUS en G. W. van SANTEN.

621.317.39 : 621-135

Electronische meetinrichtingen bezitten een aantal eigenschappen die het gebruik van deze toestellen ook buiten de electrotechniek zeer aantrekkelijk maken, bij voorbeeld op mechanisch, physisch en chemisch gebied. Het onderstaande artikel) beschrijft een nieuw voorbeeld hiervan, namelijk de wijze waarop turbines langs electronische weg voortdurend onder toezicht kunnen worden gehouden.*

De grootheden die bij een turbine permanent gecontroleerd moeten worden

Tot de machines die onder extreem zware physische condities werken, kan men zeker de turbines rekenen; immers, enerzijds treden, bij temperaturen van 500 °C en hoger, stoomdrukken op van 80 atm en meer, wat gepaard gaat met zeer grote snelheden van de draaiende delen, zodat enorme materiaalspanningen worden opgewekt, en anderzijds mag men met het oog op het rendement slechts uiterst geringe spelingen toelaten. Daar deze machines bovendien zeer kostbaar zijn, zal het geen verbazing wekken dat de toestand waarin een turbine verkeert, voortdurend zorgvuldig in het oog moet worden gehouden. Daarbij komt nog dat zelfs een ogenschijnlijk gering defect aan een turbine, of een kleine nalatigheid bij de bediening ervan, reeds zware schade aan de machine en ook ver daarbuiten kan veroorzaken — nog afgezien van de indirecte schade die ontstaat door het wegvallen van de energie die ten behoeve van electriciteitsvoorziening of voor de voortstuwing (van een schip bijv.) werd geleverd.

Om toe te lichten waar controle nodig is, verwijzen wij eerst naar *fig. 1*, die zeer schetsmatig het turbinegedeelte van een turbogenerator weergeeft. Op de met 3000 omw/min ronddraaiende as zijn de van schoepen voorziene loopwielen gemonteerd, en tussen de loopwielen in bevinden zich de vast met het huis verbonden leiwielen, die de stoom in de juiste banen leiden. De as is in radiale richting gefixeerd door glijlegers (*1*) en in axiale richting door een drukleger (Michell-leger, *2*). De doorvoeringen van de as door het huis zijn stoomdicht dank zij labyrintdichtingen (*3*). De beide delen van de as zijn door een flenskoppeling (*4*) met elkaar verbonden. De turbine rust op een fundament (*6*) en is daarmee vast verbonden op een punt *5*, verticaal onder het drukleger. Op deze ene plaats (wegens de aanzienlijke lengteveranderingen van de turbine) zijn huis, as en fundament dus ten opzichte van elkaar gefixeerd.

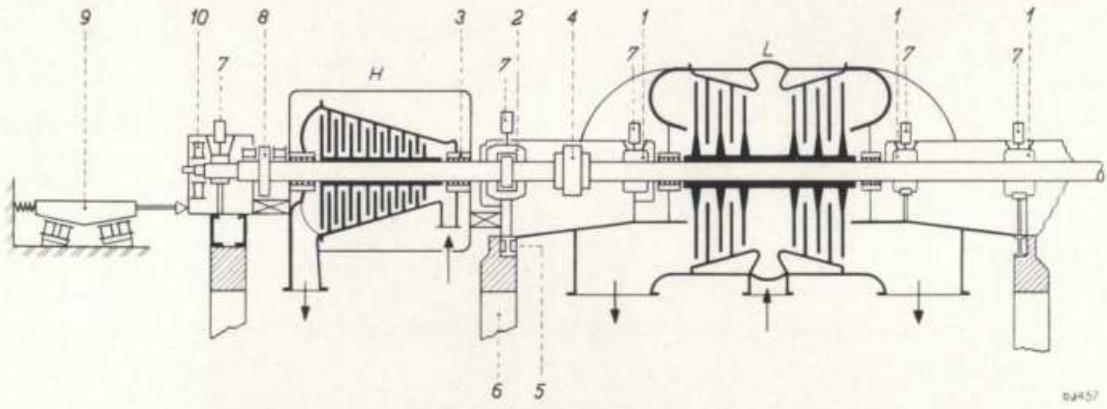

Fig. 1. Doorsnede van een stoomturbine (schematisch). *H* hogedrukgedeelte, *L* lagedrukgedeelte (de pijlen geven de richting van de stoom aan). *1* glijlegers. *2* drukleger. *3* labyrintdichting. *4* flenskoppeling. *5* punt waar het huis vast is verbonden met het fundament *6*. *7* trillingsopnemers, die trillingen van de aslegers *1* en *2* controleren. *8* schijf voor het meten van relatieve lengteveranderingen van de as. *9* meetinrichting voor de absolute lengteverandering van het huis. *10* schijf voor het bepalen van de excentriciteit.

*) In iets kortere vorm verschenen in De Ingenieur **66**, E93-E97, 17 September 1954 (No. 38).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De eerste grootheid die voor meting in aanmerking komt, is de trillingsamplitude in de legers *1* en *2*. Deze meting geeft uitsluitsel omtrent de in het draaiende systeem aanwezige onbalans, over eventuele speling in de legers en over „aanlopen". Al deze grootheden zijn voor de werking van de turbine van zeer groot belang. Een tijdige signalering van een te grote trillingsamplitude kan dan ook enorme schade voorkomen. Om enige indruk te geven van de grootte der optredende amplitudes, zij hier vermeld dat voor een bepaald geval in de literatuur [1]) een amplitude van 10 μ zeer goed wordt genoemd, terwijl men bij 45 μ ingrijpen dringend gewenst, en bij 80 μ absoluut noodzakelijk acht (deze getallen gelden voor een toerental van 3000 omw/min).

Een tweede grootheid die in dit verband van belang is, is de relatieve lengteverandering van de as ten opzichte van het huis. Bij iedere verandering van de stoomdruk (die een gevolg kan zijn van een belastingsvariatie, maar vooral sterk optreedt bij het aanzetten en het uitlopen van de machine) verandert de per seconde toegevoerde hoeveelheid warmte, en daarmee de temperatuur van de rotor en die van het huis. Daar de rotor een geringere warmtecapaciteit en een grotere warmteovergangscoëfficient bezit dan het stilstaande dikwandige huis, verandert de rotor sneller van temperatuur, en dus ook van lengte, dan het huis. De toch reeds geringe ruimte tussen loop- en leiwielen wordt daardoor nog kleiner (vooral aan de zijde die het verst van het gemeenschappelijke punt *5* is verwijderd), en bij een snelle temperatuurvariatie bestaat kans op „aanlopen", met alle daaruit voortvloeiende funeste gevolgen (o.a. ernstige beschadiging van de labyrintdichtingen). Voortdurende controle van de relatieve lengteverandering van de as is dus wel zeer geboden. De maximaal toelaatbare afwijking is 1 tot 2 mm.

Behalve deze relatieve lengteverandering wenst men vaak ook de absolute lengteverandering van het huis te meten. Daar de temperatuur van het huis in het hogedrukgedeelte 300 tot 400 °C is en de lengte 2 tot 3 m, bedraagt de verlenging ten opzichte van de koude toestand 10 tot 20 mm.

De vierde grootheid die men wenst te meten, is de excentriciteit van de as. Vooral tijdens het aanzetten en het uitlopen van de turbine bestaat de mogelijkheid dat de verwarming resp. de afkoeling langs de omtrek van de rotor niet geheel gelijkmatig geschiedt. De daarmee gepaard gaande ongelijkmatige uitzetting resp. inkrimping uit zich in buiging van de as. Wordt de doorbuiging sterk, dan bestaat er weer kans op ernstige beschadiging door „aanlopen" van loop- en leiwielen. Vandaar dat ook de excentriciteit, vooral bij kleine toerentallen, gecontroleerd moet worden.

Wat nu de methodes betreft volgens welke men de genoemde grootheden kan meten, merken wij op dat electronische methodes bijzonder aantrekkelijk zijn, en wel om de volgende redenen:

1) Met electronenbuizen kan men vermogensversterking verkrijgen, en daardoor een grote gevoeligheid.
2) De zo goed als traagheidsloze werking van electronische versterkers laat toe dat ook snel veranderende grootheden worden gemeten.

Daarbij komen nog enige voordelen van electrische meetmethodes in het algemeen, namelijk dat de aflezing of de registratie zonder bezwaar op grote afstand van het meetobject kan geschieden, en dat de eigenschappen van electrische schakelingen op eenvoudige wijze zijn aan te passen bij de eisen die het meetobject stelt. In het onderhavige geval is bovendien nog van belang dat aan draaiende objecten de relatieve verplaatsing en de excentriciteit gemeten kunnen worden zonder contact met het object te maken, dus zonder slijtage van de opnemer en zonder kans dat bij breuk van de opnemer stukken ervan in de turbine terechtkomen.

In het onderstaande zullen wij een electronische apparatuur voor turbinecontrole nader bespreken.

Controle van aslegertrillingen

De amplitude van aslegertrillingen wordt gemeten met behulp van een electrodynamische trillingsopnemer type PR 9260. Daar het al geruime tijd geleden is dat dit instrument in dit tijdschrift werd besproken [2]), zullen wij er hier een korte beschrijving van geven.

Fig. 2 geeft de trillingsopnemer in doorsnede weer. Men kan er twee gedeelten aan onderscheiden:

1) het huis H met de daarin vast aangebrachte permanente magneet M, en
2) de door een centrale staaf met elkaar verbonden membraanveren V en de daarop bevestigde spoelen S_1 en S_2.

Het huis wordt bevestigd aan het trillende object — in dit geval het schild van het desbetref-

[1]) Metingen van T. C. Rathbone, geciteerd door I. E. Church, Power, 103, Juli 1950, en K. Federn, Arch. techn. Messen 149, 1954 (No. 222).

[2]) J. Severs, Philips techn. T. **5**, 241-248, 1940; destijds was het typenummer GM 5520.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

fende asleger (*fig. 3*) — en maakt dus alle bewegingen daarvan mee. Het verend opgehangen spoelenstel daarentegen volgt deze bewegingen in veel mindere mate, bij voldoend hoge frequenties zelfs nagenoeg niet en is dan als stilstaand te beschouwen; we hebben hier daarom te doen met een zg. seismische opnemer. De met het huis verbonden magneet beweegt ten opzichte van de min of meer

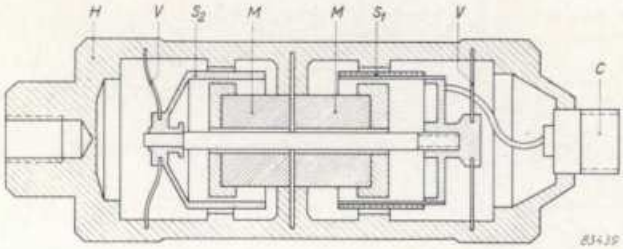

Fig. 2. Doorsnede van de electrodynamische trillingsopnemer PR 9260. *M* permanente magneet, bevestigd in het huis *H*. S_1 uitgangsspoel (met aansluitcontact *C*). S_2 dempspoel (één kortgesloten winding). De spoelen zijn onderling verbonden en opgehangen aan de membraanveren *V*.

stilstaande spoelen en induceert daarin een spanning, die evenredig is met de snelheid van de verplaatsing. Spoel S_2 is kortgesloten en levert daardoor de „half-kritische" demping (d.i. een demping half zo groot als de kritische) die voor een gunstige frequentiekarakteristiek noodzakelijk is. Spoel S_1 is verbonden met een uitgangskabel. De spanning in deze spoel, in verhouding tot de snelheid, vindt men als functie van de frequentie uitgezet in *fig. 4*.

Ten einde een spanning te verkrijgen die niet evenredig is met de snelheid van de verplaatsing, maar met de verplaatsing zelf, dient de uitgangsspanning van de opnemer één maal over de tijd te worden geïntegreerd. Dit kan op eenvoudige wijze geschieden met een enkelvoudig *RC*-netwerk.

Fig. 5 is het blokschema van de electrische schakeling. Door middel van een roterende schakelaar kunnen maximaal twaalf opnemers achtereenvolgens aangesloten worden op het integrerende *RC*-netwerk. Op dit netwerk volgt een versterker, daarop een gelijkrichter en een afvlakfilter. De zo verkregen gelijkspanning is een maat voor de amplitude van de trillingen en kan met een registrerende

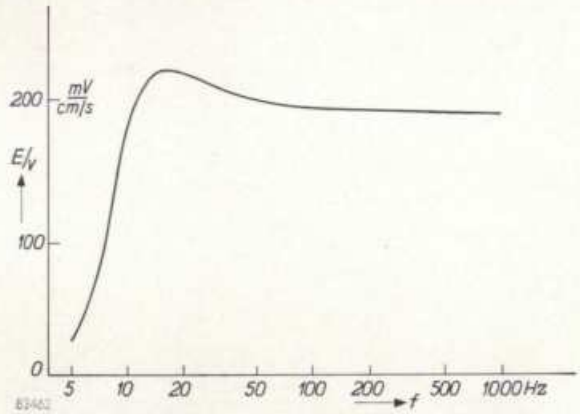

Fig. 4. Karakteristiek van de trillingsopnemer PR 9260: verhouding van de uitgangsspanning *E* tot de snelheid *v*, als functie van de frequentie *f*.

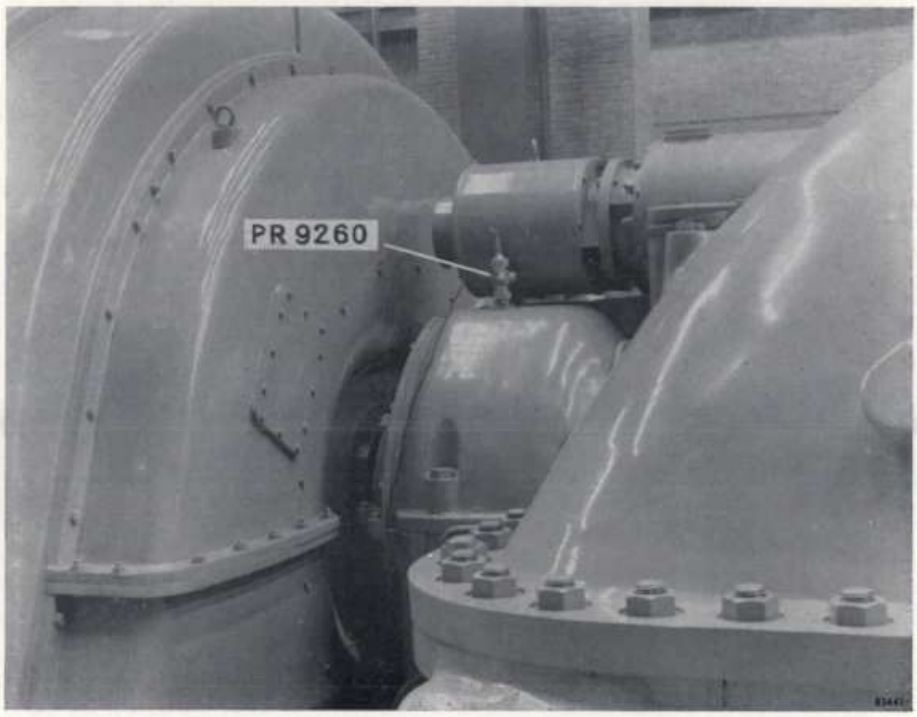

Fig. 3. De trillingsopnemer PR 9260, bevestigd aan het schild van een kussenblok.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

millivoltmeter (*fig. 6*) opgetekend worden. Het is doelmatig gebleken, daarbij de gevoeligheid zo te kiezen dat een trillingsamplitude van 50 μ de wijzer over de volle schaal doet uitslaan. De registrerende meter is voorzien van een instelbaar contact, dat een alarminstallatie in werking stelt zodra een van de trillingsamplitudes de ingestelde waarde overschrijdt.

De werking van de apparatuur kan op ieder gewenst ogenblik op eenvoudige wijze gecontroleerd worden door middel van een nauwkeurig instelbare wisselspanning, via een potentiometer ontleend aan een op het net aangesloten transformator (T, fig. 5).

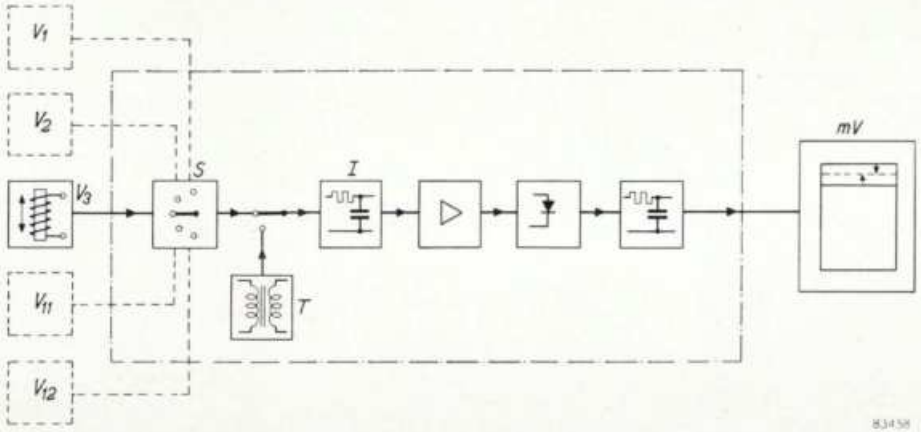

Fig. 5. Blokschema voor het aansluiten van de trillingsopnemers $V_1 \ldots V_{12}$ (7 in fig. 1), die via een draaiende schakelaar S om beurten worden aangesloten op een integrerend netwerk I. De uitgangsspanning van I werkt via een versterker, een gelijkrichter en een afvlakfilter op een registrerende millivoltmeter mV (zie fig. 6). T ijktransformator.

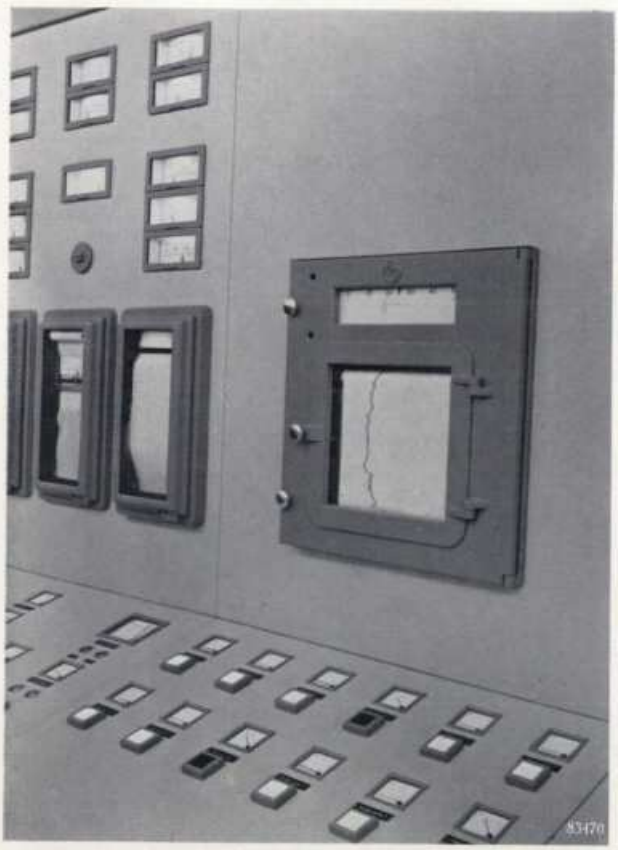

Fig. 6. De registrerende millivoltmeter type PR 2200 A/21.

Controle van lengteveranderingen en excentriciteit

Relatieve lengteverandering van de as ten opzichte van het huis

De relatieve lengteverandering van de as wordt gemeten met een zg. inductieve verplaatsingsopnemer. Dit instrument willen wij hier eerst wat nader bekijken.

De inductieve verplaatsingsopnemer (*fig. 7*) bestaat uit een anker (A) van magnetisch materiaal, dat zich tussen twee U-vormige jukken van gelamelleerd nicalloy bevindt. Ieder van de jukken is voorzien van een spoel. De spoelen hebben gelijke aantallen windingen en vormen samen met twee even grote weerstanden een brugschakeling. De ene diagonaal wordt via een transformator (T_1) gevoed uit een buisoscillator (frequentie 500 Hz). Op de andere diagonaal is de primaire spoel van een uitgangstransformator (T_2) aangesloten.

Wanneer het anker zich precies midden tussen de jukken bevindt, zijn de zelfinducties van de twee spoelen even groot en staat er derhalve geen spanning op de transformator T_2. Beweegt men het anker over een afstand x naar rechts, dan neemt de zelfinductie van de rechter spoel toe, daar de luchtspleet hier kleiner wordt, en de zelfinductie van de linker spoel neemt af. De brugschakeling is nu niet meer in evenwicht, er ontstaat over T_2 een spanning y, die over een groot gebied vrijwel evenredig met de verplaatsing x is (*fig. 8*). Hadden we

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

het anker niet naar rechts bewogen, maar over dezelfde afstand x naar links, dan zou over B_2 een even grote spanning als zoëven zijn ontstaan, maar deze zou 180° in faze verschoven zijn geweest. Om onderscheid te kunnen maken tussen een beweging naar rechts en een even grote beweging naar links, dienen we dus in staat te zijn de faze te onderscheiden. Gebruikt wordt dan ook een voor de faze gevoelige detectieschakeling.

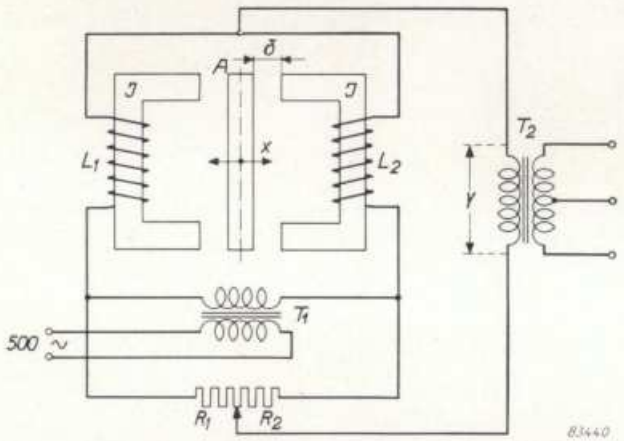

Fig. 7. Inductieve verplaatsingsopnemer (schematisch). De spoelen L_1 en L_2 en de weerstanden R_1 en R_2 vormen een brugschakeling, die over de transformator T_1 wordt gevoed uit een buisgenerator (500 Hz). De brug is in evenwicht indien het anker A zich midden tussen de jukken J bevindt. Bevindt het anker zich links of rechts van het midden, dan staat over de uitgangstransformator T_2 een spanning y.

De wijze waarop een opnemer van dit type kan dienen voor het meten van lengteveranderingen van de as van een turbine, blijkt uit *fig. 9*. Op de as is een schijf R aangebracht (*8* in fig. 1), die dezelfde functie heeft als het anker A in fig. 7, en de beide jukken zijn onwrikbaar aan het huis bevestigd.

De werking zal geen verdere toelichting behoeven. Er zij hier slechts gewezen op een tweetal kleine

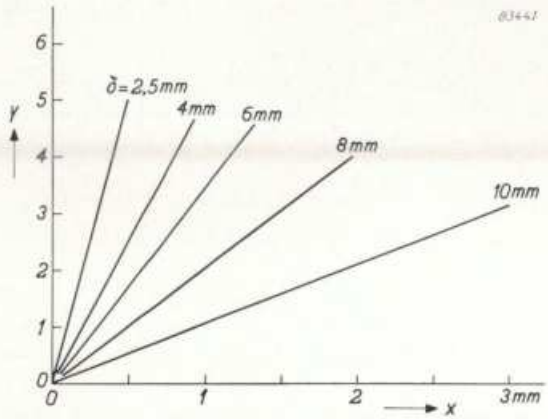

Fig. 8. De spanning y (fig. 7) in relatieve maat als functie van de uitwijking x van het anker uit de middenstand. Parameter is de luchtspleet δ.

complicaties. Eén ervan is een gevolg van het feit dat een turbogenerator is omgeven door een magnetisch en een electrisch veld, die beide een storende invloed op de meting kunnen hebben. De opnemer moet dus zowel magnetisch als electrisch zorgvuldig worden afgeschermd. Te dien einde is hij ondergebracht in een dikwandige stalen doos, aan de binnenzijde voorzien van een bekleding van mumetaal. Bovendien is de wikkelrichting van de spoelen zo gekozen dat een uitwendig magnetisch veld zo min mogelijk invloed heeft.

De tweede complicatie komt doordat de schijf R draait in het magnetisch veld van de spoelen, zodat er wervelstromen in ontstaan, die aanleiding kunnen geven tot amplitude- en fazefouten. Deze fouten zijn gering gehouden doordat de schijf is gemaakt van een nikkel-ijzerlegering (een der vele soorten „Permenorm") met grote soortelijke weerstand. Dit materiaal heeft bovendien het voordeel dat het in massieve vorm goed bewerkbaar is.

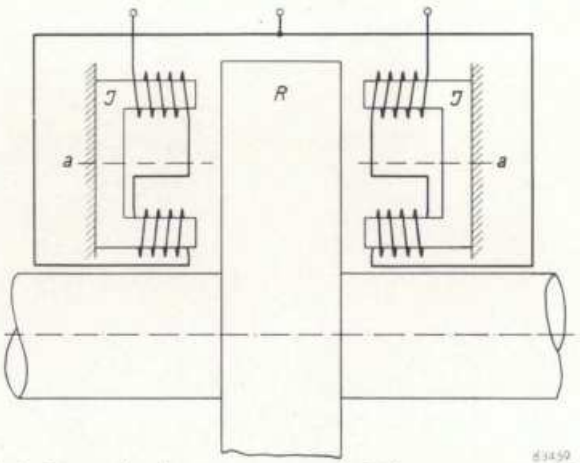

Fig. 9. De verplaatsingsopnemer van fig. 7, in een vorm geschikt voor het meten van de relatieve lengteverandering van de as ten opzichte van het huis. De jukken J zijn aan het huis vastgemaakt. Als anker fungeert een schijf R (van „Permenorm"), die op de as is bevestigd. (Voor de duidelijkheid zijn de jukken 90° om de lijn a-a gedraaid getekend.)

De grootte van de luchtspleet aan weerszijden van de schijf is 10 mm. De maximale verplaatsing die kan worden gemeten, is 5 mm naar beide kanten.

Absolute lengteverandering van het huis

Ook de absolute lengteverandering van het huis wordt gemeten met een verplaatsingsopnemer (*9* in fig. 1). Het anker van deze opnemer is daartoe verbonden met het huis, en de jukken met het fundament. Aangezien de te meten verplaatsingen hier zeer groot zijn (tot 20 mm), zou men, om een lineaire schaal te krijgen, de luchtspleten zeer ruim moeten maken, hetgeen weer zeer grote afmetingen van de jukken zou meebrengen. Om dit te vermijden,

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

hebben wij een andere oplossing gekozen: aan het anker is een wigvormige gedaante gegeven (*fig. 10*), zodanig dat een axiale verplaatsing wordt omgezet in een 50 maal zo kleine transversale verplaatsing, en deze laatste wordt op de boven beschreven manier gemeten. Dank zij deze ietwat ongebruikelijke reductie van gevoeligheid kunnen we volstaan met luchtspleten van 5 mm en daardoor met jukken van normale afmetingen. Met deze uitvoering (*fig. 11*) zijn verplaatsingen tot 50 mm naar beide zijden te meten.

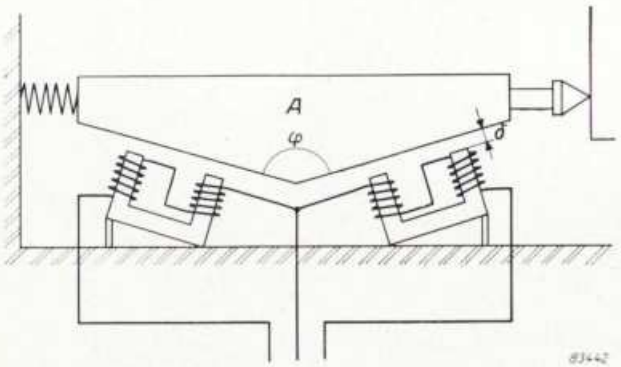

Fig. 10. Verplaatsingsopnemer voor het meten van de absolute lengteverandering van het huis. Het principe is hetzelfde als bij de opnemer van fig. 7, maar door de tapse vorm van het anker A komt een lengteverandering van de as nu tot uiting als een 50 maal zo kleine verandering van de luchtspeet δ. De hoek φ, in werkelijkheid circa 178°, is duidelijkheidshalve te klein getekend.

Excentriciteit van de as uit zich daarin dat het middelpunt van de schijf E niet in de ruimte stilstaat, maar een cirkel met straal e beschrijft, zodat dus de afstand van de omtrek der schijf tot de jukken periodiek met de amplitude e varieert.

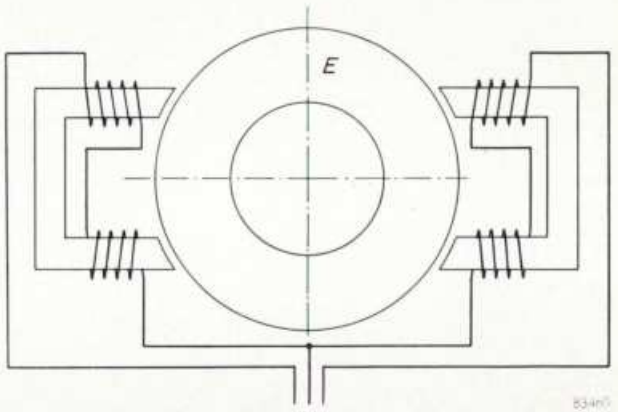

Fig. 12. Inductieve verplaatsingsopnemer (vgl. fig. 7) in een uitvoering voor het meten van de excentriciteit van de as. Het anker bestaat hier uit de schijf E (van „Permenorm"), die op de as is bevestigd.

Terwijl in de beide voorgaande gevallen sprake was van zeer langzaam veranderende grootheden, hebben we hier te doen met een dynamisch verschijnsel: de te meten afstand verandert periodiek, met dezelfde frequentie als die waarmee de as draait. De uitgangsspanning van de brug is dus een

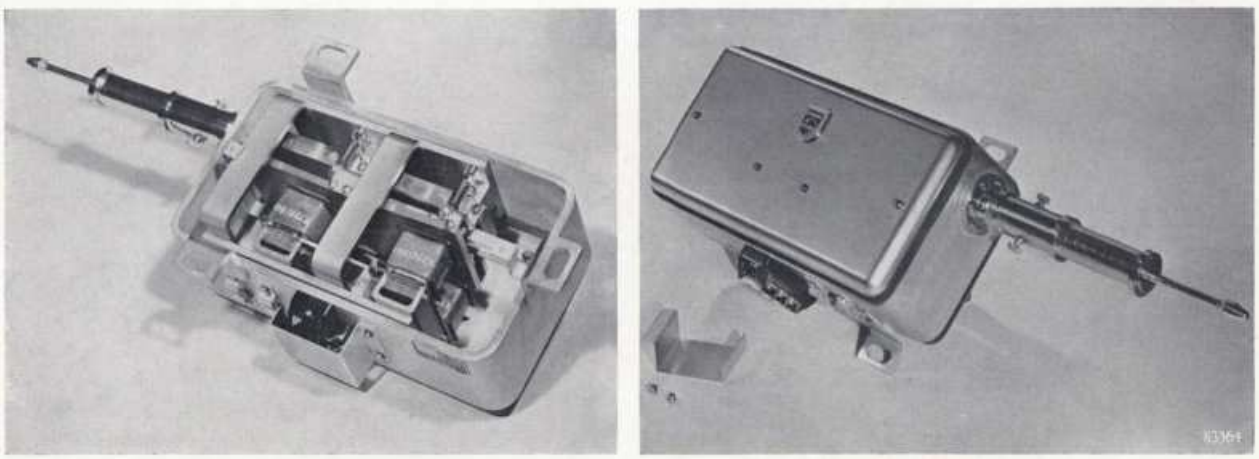

Fig. 11. De verplaatsingsopnemer van fig. 10, in geopend en in gesloten huis. Voor de ijking is de grootte van de indrukking rechtstreeks afleesbaar op een schaal; de aflezing moet overeenkomen met de uitslag van de registrerende meter.

Excentriciteit

Het meten van de excentriciteit geschiedt wederom met een inductieve verplaatsingsopnemer, in een uitvoering zoals is weergegeven in *fig. 12*. De hierin getekende schijf E bevindt zich op de plaats die in fig. 1 met *10* is aangeduid en bestaat uit dezelfde nikkel-ijzerlegering als de schijf R in fig. 9.

spanning van 500 Hz, gemoduleerd met de (veel lagere) frequentie van de as. Via een demodulator werkt deze uitgangsspanning op een registrerende meter. Zolang het toerental nog zeer klein is (kleiner dan ca. 1 omw/s) — en juist bij kleine toerentallen is het controleren van de excentriciteit zeer belangrijk, wegens de ongelijkmatige temperatuurverdeling

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

bij aanzetten en uitlopen —, volgt de wijzer van de registrerende meter de afstandsvariaties op de voet. Naarmate het toerental groter wordt, neemt de geregistreerde amplitude af, totdat ten slotte de wijzer helemaal niet meer beweegt, doch slechts de gemiddelde positie van het middelpunt der schijf aangeeft. Ook dit gegeven is waardevol, daar het een aanduiding geeft omtrent de dikte van het oliehuidje in de legers.

brug vindt plaats door middel van een voor de faze gevoelige detector (*Dem*). De zo verkregen spanning wordt in een filter (F_1) ontdaan van de 500 Hz-component, en de overblijvende laagfrequente spanning wordt toegevoerd aan een registrerend instrument. Slechts voor het meten van de excentriciteit bij grote toerentallen vindt, zoals boven werd vermeld, bovendien nog een gelijkrichting en afvlakking plaats. Met een schakelaar kan men

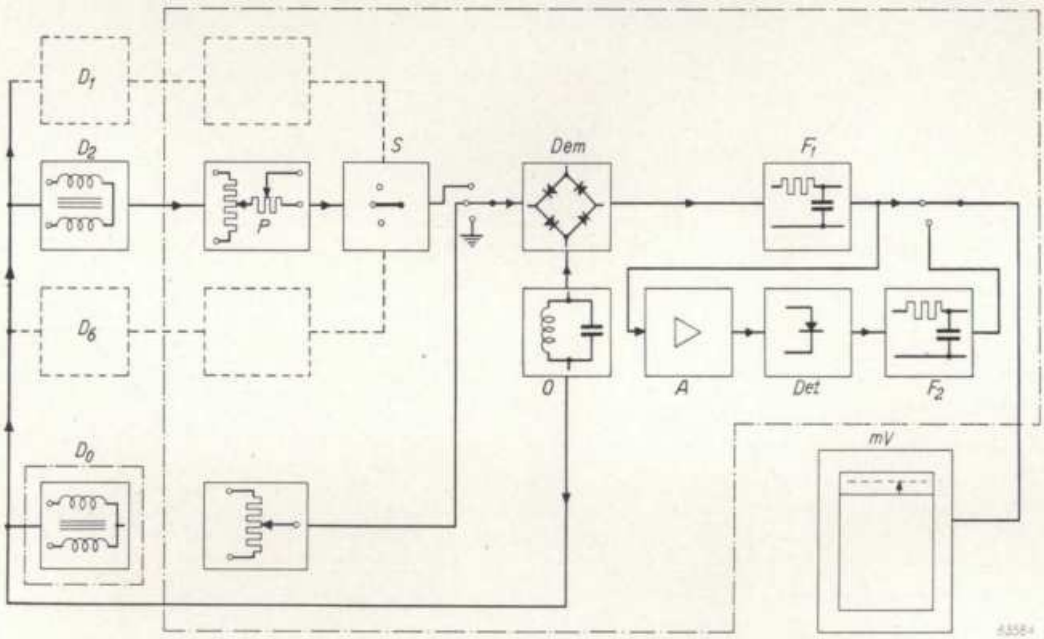

Fig. 13. Vereenvoudigd blokschema van de schakeling voor het controleren van lengteveranderingen en excentriciteit. $D_1 \ldots D_6$ zes verplaatsingsopnemers. D_0 ijkopnemer. *P* potentiometers voor het instellen van het nulpunt en van de gevoeligheid. *S* roterende schakelaar. *O* oscillator 500 Hz. *Dem* demodulator. F_1 afvlakfilter 500 Hz. *A* versterker. *Det* detector. F_2 afvlakfilter asfrequentie. (*A*, *Det* en F_2 doen alleen dienst bij het meten van de excentriciteit bij toerentallen boven ca. 48 omw./min.) *mV* registrerende millivoltmeter.

Indien men echter ook bij grote toerentallen de excentriciteit wenst te meten, moet men, evenals bij het meten van de trillingsamplitude, de gedemoduleerde uitgangsspanning gelijkrichten en afvlakken, en de zo verkregen gelijkspanning registreren.

De luchtspleet tussen schijf en jukken wordt ingesteld op 2,5 mm; een excentriciteit van 0,5 mm doet de wijzer over de volle schaal uitslaan.

De electrische schakeling

Een blokschema van de schakeling die voor lengte- en excentriciteitscontrole wordt gebruikt, vindt men in *fig. 13*. Met behulp van een schakelaar, die door een motortje wordt aangedreven, kunnen hier maximaal zes inductieve opnemers achtereenvolgens worden aangesloten. Van ieder dezer opnemers zijn door middel van twee in het apparaat aangebrachte potentiometers het nulpunt en de gevoeligheid in te stellen.

De demodulatie van de uitgangsspanning der deze gelijkrichter (*Det*) in of buiten werking stellen; soms wordt de schakelaar bediend door een relais, dat automatisch bekrachtigd wordt zodra het toerental een bepaalde waarde (bij voorbeeld 48 omw/min, overeenkomend met 0,8 Hz) overschrijdt. De in *fig. 14* afgebeelde registratiestrook geeft de toestand weer bij een uitlopende turbine terwijl het toerental van 48 omw/min werd gepasseerd.

De werking van de apparatuur kan te allen tijde gecontroleerd worden met behulp van een of meer standaardopnemers, die van geheel dezelfde constructie zijn als de hiervóór genoemde, maar bovendien zijn voorzien van een micrometerschroef, waarmee men het anker een zeer nauwkeurig instelbare en afleesbare verplaatsing kan geven.

De delen van de apparatuur die gevoelig zijn voor schommelingen van de voedingsspanning, worden gevoed vanuit een gestabiliseerde spanningsbron, waardoor netspanningsfluctuaties zonder invloed op de meetresultaten blijven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

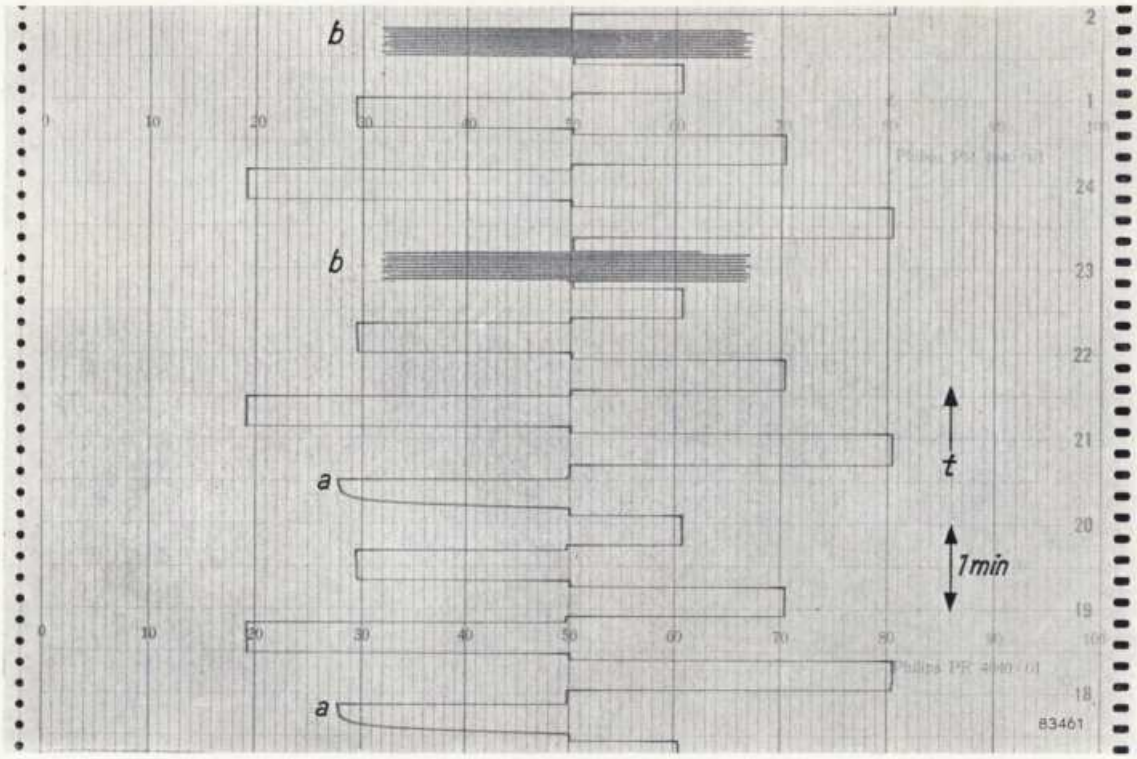

Fig. 14. Registratiestrook, die de toestand van een uitlopende turbine weergeeft. Bij *a* werd de excentriciteit geregistreerd met de detector *Det* (fig. 13) in werking (toerental nog boven 48 omw/min), bij *b* zonder deze detector (toerental beneden 48 omw/min); de wijzer volgt nu de gedemoduleerde wisselspanning. De tussenliggende rechthoekige uitslagen hebben betrekking op lengteveranderingen.

Samenvatting. Turbines zijn zeer kostbare machines, die onder buitengewoon zware physische condities werken en waarbij slechts uiterst kleine spelingen tussen de roterende en de stilstaande delen mogen worden toegelaten. Door bepaalde grootheden voortdurend te controleren door middel van een inrichting die alarm geeft zodra een der grootheden een zekere waarde overschrijdt, kan men enorme schade voorkomen.

De grootheden die voor voortdurende controle in aanmerking komen, zijn de trillingsamplitudes van diverse aslegers, lengteveranderingen van de as en van het huis, en de excentriciteit van de as. Electronische methodes voor het meten van deze grootheden hebben het voordeel van grote gevoeligheid, van het afwezig zijn van traagheid, en van de mogelijkheid de aflezing en de registratie op afstand te doen geschieden.

Beschreven worden een seismische electrodynamische trillingsopnemer voor het controleren van aslegertrillingen, en verschillende uitvoeringen van een inductieve verplaatsingsopnemer, voor het controleren van resp. de relatieve lengteverandering van de as ten opzichte van het huis, de absolute lengteverandering van het huis, en de excentriciteit van de as.

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publicaties, voor zover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

2184: Y. Haven en J. H. van Santen: Electrically and elastically active relaxation modes (J. chem. Phys. **22**, 1146, 1954, No. 6).

Een verzameling van deeltjes die ieder voor zich kunnen bewegen in een potentiaalveld bestaande uit gebieden van lage potentiaal gescheiden door potentiaalbergen, bereikt de evenwichtstoestand met een snelheid die kan worden beschreven als een som van exponentiële tijdfuncties, dwz. dat het systeem meer dan één relaxatietijd bezit. Het aantal van deze relaxatietijden en hun symmetrie-eigenschappen worden kort besproken. Bij geladen deeltjes corresponderen sommige van deze relaxatietijden met een veranderend electrisch moment (electrisch werkzame relaxaties), terwijl andere corresponderen met een herverdeling der deeltjes die kan worden teweeggebracht door mechanische invloeden (bijv. hydrostatische druk, trek- of schuifspanningen). Er worden enige voorbeelden gegeven.

2185: J. M. Stevels: Iron in glass (Proc. Int. Comm. Glass **1**, 68-76, 1954).

Punten van overeenstemming en van tegenspraak in de diverse theorieën ter verklaring van de kleur van ijzerhoudende glazen worden opgenoemd. Er

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

worden voorstellen gedaan om in de technologie van het glas een woordgebruik in te voeren dat algemeen is en dat niet gekoppeld is aan een bepaalde theorie. De toestand van een glas kan waarschijnlijk worden beschreven met drie parameters, nl. een structuurparameter α, die ongeveer beschrijft hoe de rest van het netwerk de plaatsen der ijzerionen in het netwerk beïnvloedt, een reductieparameter β, die vastlegt in welke mate het glas is geoxydeerd of gereduceerd, en een energieparameter γ, die aangeeft hoe gemakkelijk de electronen bewegen in het medium bestaande uit zuurstofionen.

2186: P. Baeyens: Electroplating with modulated current (Voordracht gehouden op de „Fourth Int. Conf. Electrodeposition Metal Finishing" te Londen, 23 April 1954; zal verschijnen in Trans. Inst. Met. Finishing **31**, 1954).

Overzicht van de vele methodes van galvanisering met gemoduleerde stroom. Voorgesteld wordt de toevoeging „gemoduleerd" te gebruiken voor een galvaniseringsstroom die periodieke verandering van grootte en/of teken vertoont. Een uitgebreid overzicht van de literatuur (uitgezonderd die aangaande anodische oxydatie en de vormen van conversiebekledingen) is opgenomen.

R 234: I. Pelchowitch: A high-resolution mass spectrometer with variable-bandwidth measuring circuits (Philips Res. Rep. **9**, 1-41, 1954, No. 1).

Er wordt een massaspectrometer beschreven met magnetische afbuiging en met groot scheidend vermogen. Na een algemeen overzicht van de bouw van het instrument volgt een nauwkeurige analyse van de toegepaste electrische schakeling. Deze schakeling maakt het o.a. mogelijk zowel zeer snel verlopende details (bijv. stroompieken) als een meer gemiddeld gedrag van de waar te nemen ionenstroom op een oscillograaf zichtbaar te maken met behoud van een grote gevoeligheid. De afzonderlijke gedeelten van de schakeling zijn hiertoe zowel voor statisch als voor dynamisch gebruik geschikt gemaakt. Van de versnellingsspanning voor de ionen kunnen de beginwaarde, de amplitude, en het verloop als functie van de tijd worden gevarieerd. Er wordt een speciale, rechtstreeks gekoppelde, electrometerversterker met brede frequentieband (frequentiegebied 0-1000 Hz) toegepast. De met het oog op een grote signaal-ruisverhouding gunstigste bandbreedte kan met het achter deze versterker geschakelde gedeelte der meetapparatuur worden gekozen.

Ten einde storende invloeden van inductieve en lekstromen te onderdrukken, is de voedingsapparatuur zo geconstrueerd dat zij een lage effectieve impedantie heeft. Een bijzonderheid van het instrument is de toepassing van een verbeterde ruimteladingsemissieregelaar in combinatie met een gewijzigde uitvoering van de ionenbron volgens Nier.

R 235: I. Pelchowitch: A study of the evaporation products of alkaline-earth oxides (Philips Res. Rep. **9**, 42-79, 1954, No. 1).

De in **R 234** beschreven massaspectrometer is gebruikt ter bestudering van de verdamping van oxydes der aardalkalimetalen, aangebracht op metalen strippen (van Pt, Ni of Ta), welke door stroomdoorgang werden verhit. BaO, aangebracht op Pt of Ni, blijkt hoofdzakelijk te verdampen als oxyde. Dit is eveneens geconstateerd toen het tezamen met SrO of CaO op Pt was aangebracht. Bij hoge temperatuur verdampt van het systeem BaO-Pt ook Ba_2O_2. In het systeem SrO-Pt bleek het vrije element Sr het belangrijkste verdampingsproduct. Daarnaast kwam ook het oxyde voor. Bij afschakeling van de ioniserende electronenbundel bleek dat een fractie van het Sr als enkelvoudig geladen ionen verdampt. Analoge resultaten werden verkregen met de systemen CaO-Pt en BaO-Ta.

Aan de voor eenvoudige verdampingsverschijnselen geldende wet dat tussen de logarithme van de verdampingssnelheid en de reciproke waarde van de absolute temperatuur een lineair verband bestaat, bleek niet geheel voldaan te worden. De verdampingskromme van BaO kan voor alle BaO-systemen, aangebracht op Pt, het best worden benaderd door twee rechte lijnen die elkaar snijden bij $T = 1250$ °K. Ook in de verdampingskromme van vrij Ba in het systeem BaO-Ta blijkt deze temperatuur critisch te zijn. In het systeem BaO-Ni vertoont de verdampingskromme van BaO geen overgangspunt bij 1250 °K. Hier blijkt het basismetaal Ni door de poreuze BaO-laag heen te verdampen en de verdampingskromme van dit Ni vertoont een overgangspunt in de omgeving van 1250 °K. Bij het systeem SrO-Pt werd in de verdampingskromme van vrij Sr een overgangspunt gevonden bij 1600 °K. Het systeem CaO-Pt vertoonde geen overgangspunten in het gemeten gebied (1560-1800 °K). Ter controle is de verdamping van Ni van onbedekt Ni-band gemeten; hierbij werd een volkomen rechte lijn gevonden (1100-1500 °K). Alle krommen, behalve die met tantaal als onderlaag, zijn reversibel en zeer goed reproduceerbaar.

Naar aanleiding van de onverwachte vorm der verdampingskrommen werden weerstandsmetingen verricht aan de onderzochte systemen, waarbij de oxydelagen tussen metalen electrodes werden geklemd. Al de bovengenoemde overgangspunten

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

kwamen duidelijk naar voren in het gedrag van de weerstand als functie van de temperatuur. Het verschil tussen Pt en Ni als basismateriaal was ook waarneembaar. Ten slotte worden de resultaten critisch vergeleken met de uit de literatuur bekende gegevens.

R 236: P. Zalm, G. Diemer en H. A. Klasens: Electroluminescent ZnS phosphors (Philips Res. Rep. **9**, 81-108, 1954, No. 2).

Het artikel bestaat uit drie delen. In deel I wordt de vervaardiging van electroluminescerende ZnS-poeders beschreven. Hierbij wordt uitgegaan van de onderstelling dat het voor electroluminescentie noodzakelijk is dat de oppervlaktelaag der korrels veel koper bevat. In deel II worden electrische en optische metingen aan de poeders beschreven. Van de lichtopbrengst der in een electrisch wisselveld luminescerende poeders werden oscillogrammen opgenomen. Onder een microscoop werd het verschijnsel aan afzonderlijke kristallen waargenomen. Door stroboscopische waarneming kon ook het verloop van de lichtuitzending binnen één wisselspanningsperiode zichtbaar gemaakt worden. De maximale lichtopbrengst bedroeg 1,5 $\pm$ 0,2 lm/W; de emittantie bedroeg ongeveer 1000 lm/m^2 (bij 600 V en 3000 Hz). In deel III worden de verkregen resultaten theoretisch geïnterpreteerd. Zij leiden tot de opvatting dat electroluminescentie een oppervlakverschijnsel is, vergelijkbaar met kathodestraalluminescentie met langzame electronen. Het geringe nuttige effect van electroluminescerende fosforen wordt vergeleken met dat van normale fosforen bij excitatie met een electronenbundel van geringe snelheid en grote stroomdichtheid. Het artikel besluit met een bespreking van een electrisch vervangschema voor een als suspensie aangebrachte electroluminescerende laag.

R 237: G. Diemer: Electric breakdown and light emission in CdS single crystals (Philips Res. Rep. **9**, 109-121, 1954, No. 2).

Bij metingen van de gelijkspanningsdoorslag in met Cl geactiveerde fotogeleidende CdS-eenkristallen, worden *I-V*-karakteristieken verkregen die zeer veel overeenkomst vertonen met die van boogontladingen in gassen. Er is een Townsend-gebied, dat tot het optreden van anodelicht aanleiding geeft, een gebied met een negatieve helling der karakteristiek, waarin lichtverschijnselen optreden die wijzen op een positieve „streamer"-ontlading, en een boogontladingsgebied met thermisch karakter.

R 238: W. F. Niklas: Die negative Ionenkomponente des Elektronenstrahles in Kathodenstrahlröhren, insbesondere Fernsehbildröhren (Philips Res. Rep. **9**, 122-130, 1954, No. 2).

De electronenbundel in een kathodestraalbuis bevat behalve de electronen ook negatieve ionen, die het fluorescentiescherm beschadigen. In een kathodestraalbuis met een electrostatische lens worden door een magnetisch dwarsveld de ionen afgebogen over een hoek die afhangt van hun massa, en zij worden dus gebundeld op verschillende plaatsen van het scherm. Door ijking met bekende ionen kan men de massa's der voorkomende ionen bepalen. Indien de lens zodanig is ingesteld dat de electronenbundel scherp op het scherm is gefocusseerd, betekent een onscherpe focussering der ionenbundels dat deze ionen niet op dezelfde plaats ontstaan als de electronen. Uit de waargenomen onscherpte kon worden afgeleid dat een deel der ionen afkomstig is uit de kathode („kathode-ionen") en een ander deel uit de in de buis achtergebleven gasresten („gasionen"). Door middel van een schaduwmethode (met een fijnmazig net) werd vastgesteld dat de gasionen afkomstig zijn uit de ruimte tussen de Wehnelt-cylinder en de zuiganode. Als kathode-ionen blijken op te treden Cl^{37}, Cl^{35}, CN of C_2H_2, en als gasionen O, CH, C. Door betere evacuatie van de buis kan men het ontstaan van gasionen vermijden; tevens blijkt dat CN- en C_2H_2-ionen (kathode-ionen) in hoeveelheid afnemen naarmate de buis langer in gebruik is.

R 239: H. G. Beljers: Faraday effect in magnetic materials with travelling and standing waves (Philips Res. Rep. **9**, 131-139, 1954, No. 2).

Beschrijving van het ferromagnetische Faraday-effect in een ronde golfpijp, met recapitulatie van de benaderende theorie voor de hoek waarover het polarisatievlak wordt gedraaid. De uitkomsten der theorie worden vergeleken met de experimentele resultaten verkregen met Ferroxcube en Ferroxdure. Ten slotte wordt een experiment beschreven met een ferriet in een resonantieholte, waarbij zowel de in positieve als de in negatieve zin roterende component van de optredende trilling wordt aangetoond.

R 240: J. S. C. Wessels: Investigations on photosynthesis; the Hill reaction, Part I (Philips Res. Rep. **9**, 140-159, 1954, No. 2).

Eerste gedeelte van een verhandeling waarin de fotochemische reductie van verschillende chinonen en kleurstoffen door geïsoleerde chloroplasten wordt onderzocht door meting van de redoxpotentiaal gedurende belichting. Behalve een algemene inleiding bevat dit gedeelte experimentele details.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!